



UNIVERSITE DE LILLE

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2024

N°:

THESE POUR LE

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 5 Septembre 2024

Par Alexandre Bosquet

**PRECISION DE LA CHIRURGIE GUIDEE ET DE LA CHIRURGIE NAVIGUEE EN
IMPLANTOLOGIE.**

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Philippe BOITELLE

Assesseurs :

Monsieur le Docteur François BOSCHIN

Monsieur le Docteur Corentin DENIS

Monsieur le Docteur Maxime LOOCK

UNIVERSITE DE LILLE

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2024

N°:

THESE POUR LE

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 5 Septembre 2024

Par Alexandre Bosquet

Né(e) le 29-01-1998 à Cambrai – France

**PRECISION DE LA CHIRURGIE GUIDEE ET DE LA CHIRURGIE NAVIGUEE EN
IMPLANTOLOGIE.**

JURY

Président : Monsieur le Professeur Philippe BOITELLE

Assesseurs : Monsieur le Docteur François BOSCHIN

Monsieur le Docteur Corentin DENIS

Monsieur le Docteur Maxime LOOCK

Président de l'Université :	Pr. R. BORDET
Directrice Générale des Services de l'Université :	A.V. CHIRIS FABRE
Doyen UFR3S :	Pr. D. LACROIX
Directrice des Services d'Appui UFR3S :	
Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S :	Pr. C. DELFOSSE
Responsable des Services :	L. KORAÏCHI
Responsable de la Sclolarité :	G. DUPONT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

K. AGOSSA	Parodontologie
P. BOITELLE	Responsable du département de Prothèse
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
C. DELFOSSE	Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S Odontologie Pédiatrique Responsable du département d'Orthopédie dento-faciale
E. DEVEAUX	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

T. BECAVIN	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale
F. BOSCHIN	Responsable du Département de Parodontologie
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
X. COUTEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
C. DENIS	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Responsable du Département de Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de Biologie Orale
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
M. SAVIGNAT	Responsable du Département des Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Responsable du Département d'Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Prothèses

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation, ni improbation ne leur est donnée.

Aux membres du jury...

Monsieur le Professeur Philippe BOITELLE

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département Prothèses

- Docteur en Chirurgie Dentaire
 - Habilitation à Diriger des Recherches (Université de Lille)
 - Docteur de l'Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité. Spécialité : Mécanique des matériaux.
- Master 2 recherche Biologie et Santé, mention Biologie cellulaire et biologie quantitative – Université Lille2
- Maîtrise de Sciences Biologiques et Médicales – Université Lille2
- CES d'Odontologie Prothétique option Prothèse fixée – Université Paris Descartes
- Prix 2006 Annual Scholarship Award for outstanding academic achievements in dentistry – Pierre Fauchard Academy Foundation – New- York – U.S.A
- Responsable du Département de Prothèses
- Responsable de l'Unité Fonctionnelle de Prothèse
- Responsable du DU Biomimétique, Esthétique et Numérique (Lille)
- Chargé de mission à la Formation Continue

Monsieur le Docteur François BOSCHIN

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

Département Parodontologie

- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Docteur en Odontologie de l'Université de Lille 2
- Diplôme d'Etudes Approfondies de Génie Biologiques et Médicales
- Certificat d'Etudes Supérieures de Technologie des Matériaux utilisés en
- Art Dentaire
- Certificat d'Etudes Supérieures de Parodontologie
- Responsable du Département de Parodontologie

Monsieur le Docteur Corentin DENIS

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département Prothèses

- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Master II « Sciences du médicaments » - Parcours « Dispositifs Médicaux – Biomatériaux » - Université Lille 2
- C.E.S Prothèses Fixées – Université d'Aix-Marseille

Monsieur le Docteur Maxime LOOCK

Chargé d'Enseignement – Praticien Hospitalier de CSERD

Section Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

Département Chirurgie Orale

- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Certificat d'Etudes Supérieures d'Odontologie Chirurgicale – Université de Lille

Sommaire

1. Types de chirurgies implantaires assistées	15
1.1 La chirurgie implantaire guidée statique	15
1.1.1 Le flux numérique d'un guide chirurgical	15
1.1.1.1 Guide chirurgical à appui dentaire	19
1.1.1.2 Guide chirurgical à appui muqueux et osseux	20
1.2 La chirurgie implantaire assistée dynamique	21
1.2.1 Repère chez un patient denté	22
1.2.2 Repère chez un patient édenté	23
1.2.3 Acquisition d'images et planification du logiciel	23
1.2.3.1 Acquisition d'images	23
1.2.3.2 Planification	24
1.2.3.3 Etalonnage	25
1.2.4 Temps chirurgical	26
1.2.5 Avantages	28
1.2.6 Inconvénients	28
2. Facteurs influençant la précision en chirurgie implantaire assistée	29
2.1 Erreurs et imprécisions liées aux images radiographiques	29
2.1.1 Choix du champ de vision du CBCT	29
2.1.2 Erreurs de transfert de données du domaine clinique vers le logiciel : une importante source d'erreur	31
2.1.2.1 Matériel et méthodes	31
2.1.2.2 Résultats et conclusion	32
2.1.3 Positionnement/mouvement du patient pendant le CBCT	33
2.2 Sources d'erreurs humaines et techniques en chirurgie assistée statique	34
2.2.1 Fabrication des guides chirurgicaux et type de guide	34
2.2.2 Positionnement tridimensionnel d'un guide en intra-buccal par le chirurgien	35
2.2.3 Localisation anatomique	36
2.2.4 Forage et composantes de forage	36
2.2.4.1 Interaction du guide avec les forets	37
2.2.4.2 Refroidissement de l'os	38
2.2.5 Expérience de l'opérateur	39
2.3 Patient édenté total : défi de l'utilisation d'un guide	41
2.3.1 Tomodensitométrie et scan de surface	41
2.3.2 Vis de fixation	42
2.3.3 Implants provisoires	42
2.3.4 Implantation par étapes	43
2.3.5 Guides à étages : une option pour la réhabilitation de l'édenté complet	45
2.3.5.1 Définition et conception	45
2.3.5.2 Eléments constituant le guide et moyens de liaison	46
2.3.5.3 Chirurgie	47
3. Comparaison de la précision en fonction des chirurgies assistées employées	49
3.1 Chirurgie guidée statique	49
3.1.1 Comparaison des différents types de douilles de guidage : ouvertes et fermées	49
3.1.1.1 Matériel et méthodes	49
3.1.1.2 Résultats (Fig 26)	51
3.1.1.3 Discussion et conclusion	52
3.1.2 Précision des guides chirurgicaux avec ou sans cylindre de guidage métallique	53
3.1.2.1 Tallarico <i>et al.</i> : un essai contrôlé randomisé	53
3.1.2.2 Tallarico <i>et al.</i> : une revue systématique	55

3.1.3	Précision de la chirurgie guidée en comparaison de la chirurgie à main levée	56
3.1.3.1	Lou et <i>al.</i> un essai contrôlé randomisé [26]	56
3.1.3.2	Précision en technique flapless entre chirurgie guidée et à main levée	58
3.1.3.3	Autre étude	63
3.1.4	Chirurgie entièrement guidée comparée à la chirurgie partiellement guidée	64
3.1.4.1	Ngamprasertkit et <i>al.</i> [28]	64
3.1.5	Synthèse sur la comparaison des chirurgies entièrement guidées, partiellement et à main levée, à travers une revue systématique et méta-analyse.	68
3.1.6	Précision selon l'édentement et le type de support	71
3.1.6.1	Précision de la pose d'implants guidée chez les patients partiellement édentés	71
3.1.6.2	Précision de la chirurgie guidée selon le type de support	75
3.2	Précision en chirurgie naviguée	78
3.2.1	Matériel et méthodes	78
3.2.1.1	Sélection des études	78
3.2.1.2	Variables analysées	78
4.	Discussion	82
Annexes		91

Tables des abréviations

CAD/CAM: Computer Assisted Design & Computer Assisted Manufacturing.

CBCT : Cone Beam Computed Tomography.

dCAIS: Chirurgie implantaire dynamique assistée par ordinateur.

sCAIS : Chirurgie implantaire statique assistée par ordinateur.

DICOM : Digital Imaging and Communications in Medicine.

FOV: Field of View (champ de vision).

OMS : Organisation mondiale de la santé.

PICOS: Population, intervention, comparaison, résultats et conception de l'étude.

SDIG : Surgical drill implant guide.

SDG : Surgical drill guide.

STL: Stéréolithographie.

Introduction

Le remplacement des dents naturelles perdues constitue un défi pour le praticien, de par la gestion des tissus et des zones anatomiques environnantes. L'implantologie contemporaine est marquée par le développement des techniques d'imagerie 3D et de logiciels de planification, contribuant à l'essor des chirurgies implantaire guidées et naviguées.

La chirurgie guidée statique s'appuie sur l'utilisation de guides conçus sur mesure et va aider à placer les implants prévus, en essayant de réduire les risques, et d'obtenir des résultats plus prévisibles. Le guide implantaire est défini comme « un guide utilisé pour faciliter la mise en place chirurgicale et l'angulation correcte des implants dentaires ».

La chirurgie naviguée dynamique utilise les nouvelles technologies pour guider le placement de l'implant en temps réel dans le volume osseux, tout en étant guidé par le projet implantaire.

De la planification implantaire jusqu'à la chirurgie, ces protocoles s'inscrivent dans un flux de travail de plus en plus numérique, comportant de multiples étapes et facteurs pouvant influencer la précision finale de la pose. Cette précision est importante car elle a un impact direct sur les résultats fonctionnels et esthétiques des patients.

Cette thèse propose d'identifier les paramètres liés à la précision pour d'une part permettre une utilisation de la chirurgie guidée plus prédictible et fiable, et d'autre part effectuer une comparaison des guides entre eux.

Dans un premier temps nous distinguerons les deux méthodes de chirurgie assistées existantes : statique et dynamique.

Les facteurs influençant la chirurgie assistée seront évalués dans un second temps pour terminer sur une évaluation de la précision de ces aides chirurgicales.

1. Types de chirurgies implantaires assistées

La chirurgie assistée en dentisterie implantaire est un flux de travail numérique qui repose sur l'acquisition de données radiographiques (scanner, CBCT : Cone Beam Computed Tomography), de données intra-orales, et la planification de la future prothèse du patient [1,2].

Deux types de méthodes assistées par ordinateur existent en chirurgie implantaire :

- L'approche guidée (sCAIS) : La planification implantaire va être transférée en bouche grâce à un guide chirurgical élaboré en impression 3D ; c'est le passage d'un projet virtuel à une réalité chirurgicale.
- L'approche dynamique (dCAIS) : Un système de navigation chirurgical reproduit la position virtuelle de l'implant [1].

1.1 La chirurgie implantaire guidée statique

1.1.1 Le flux numérique d'un guide chirurgical

La conception des guides chirurgicaux statiques repose sur un flux de travail numérique comportant plusieurs étapes, basé sur la méthode CAD/CAM (Computer Assisted Design & Computer Assisted Manufacturing) [3,4].

Les données du patient sont recueillies par balayage optique intra-oral et par un scan tomographique (CBCT) ; puis enregistrées via un logiciel de planification implantaire afin de planifier virtuellement la position des implants et de la prothèse, et aboutir à la conception d'un guide chirurgical [3,4].

Selon l'édentement à réhabiliter, la réalisation du guide sera différente et sera à support dentaire, muqueux, ou osseux si un lambeau est élevé. Une stabilisation supplémentaire peut être apportée à l'aide de vis, à distance de la zone à implanter [3,4].

Le protocole d'ostéotomie et de pose d'implant varie selon que la chirurgie est entièrement guidée ou partiellement :

- Entièrement guidée : Le guide chirurgical est utilisé du foret pilote (et parfois pour la mucotomie) jusqu'à la pose de l'implant.
- Partiellement guidée : Le guide chirurgical n'est utilisé que pour le foret pilote ou pour toute l'ostéotomie, mais l'implant est posé à main levée [3].

Le protocole de traitement suit ces différentes étapes :

1. Scan de surface et tomodensitométrie à faisceau conique (CBCT).
2. Enregistrement des données.
3. Analyse par le logiciel informatique.
4. Fabrication des guides chirurgicaux.
5. Opération chirurgicale [3,4].

▪ Etape 1 : Réalisation de la prise d'empreinte et du Cone Beam

Le CBCT va permettre en pré-opératoire d'étudier le volume osseux disponible sur la zone à implanter, l'épaisseur de la muqueuse, les dents adjacentes et la position des éléments anatomiques : sinus maxillaire, position du canal mandibulaire, canal incisif et foramen mentonnier.

L'empreinte des arcades permet de recueillir les informations de la surface des dents et le contour des tissus mous :

- Avec un scanner intra-oral : Empreinte optique et acquisition d'un fichier STL (Stéréolithographique).
- Sans scanner intra-oral : Empreinte en silicone habituelle, coulée du modèle en plâtre et scan du modèle pour l'obtention d'un fichier STL [3,4].

▪ Etape 2 : Enregistrement des données

Les données 3D sont enregistrées dans un logiciel de planification au format DICOM (Digital Imaging and Communications In Medicine) avec les fichiers STL du scan intra-oral. Ce processus d'enregistrement permet de reconstruire les tissus mous et osseux du patient pour passer à la planification [3,4].

- Étape 3 : Planification implantaire

Après avoir reconstruit un modèle virtuel en 3D, un wax-up virtuel de la future prothèse est conçu. La taille et le diamètre de l'implant est choisi dans une bibliothèque d'implants en fonction du projet prothétique. La situation coronaire et apicale de l'implant est vérifiée, ainsi que son axe dans les 3 plans de l'espace [3,4].

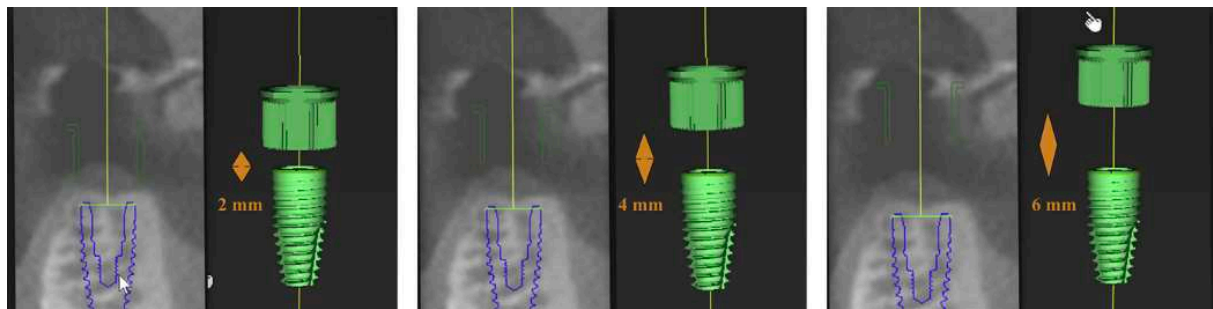


Figure 1 : Conception du guide : intégration des différentes hauteurs de douille de guidage [3].

Les dimensions de la douille de guidage (longueur et diamètre), et la hauteur entre la douille et la zone de forage peuvent varier. Ces douilles sont intégrées au guide pour guider l'ostéotomie et la pose de l'implant [3].

- Etape 4 : Conception des guides chirurgicaux

Les guides chirurgicaux seront réalisés manuellement sur le modèle en plâtre par le laboratoire, ou à l'aide de méthodes assistées par ordinateur (CAD/CAM). Lorsque la planification est terminée, les guides et la prothèse provisoire (si elle existe) sont exportés au format STL pour la fabrication par stéréolithographie [3,4].

La stéréolithographie permet de fabriquer un objet 3D à partir de données numériques. Une cuve est remplie d'un photopolymère liquide qui va successivement être durci, couches par couches, grâce à une lumière ultra-violetle. Lorsque le guide est imprimé, les douilles de guidage métallique peuvent être incorporées au système implantaire (Fig 2) [3,5].



Figure 2 : Guide chirurgical imprimé par stéréolithographie (Iconographie personnelle CHU Lille).

La conception des guides va dépendre du type de support : appui dentaire, muqueux ou osseux. Lors de grandes reconstitutions, des dents peuvent être laissées en place avant d'être extraites pour stabiliser le guide lors de la chirurgie. Pour offrir une stabilité supplémentaire, des zones peuvent être rajoutées sur le guide pour intégrer des vis de fixation [3,4].

- Etape 5 : Opération chirurgicale

Le guide, préalablement au début de la chirurgie, doit être essayé en bouche afin d'être adapté et offrir une stabilité sur les tissus mous, l'os ou les dents. La chirurgie peut être réalisée avec lambeau (technique « flap ») ou sans lambeau (technique « flapless ») [3,4].

1.1.1.1 Guide chirurgical à appui dentaire

Le guide chirurgical à appui dentaire est utilisé soit lorsque la zone à implanter est un édentement encastré, de faible étendue, soit pour offrir une stabilité supplémentaire en cas d'édentement de grande étendue. Le guide prend appui sur toutes les dents présentes sur l'arcade et doit être stable sans mouvements de rotation.

Dans sa partie occlusale, le guide présente des hublots d'inspection permettant de vérifier sa bonne insertion. Il doit être maintenu au contact des dents sur toute la durée de la chirurgie, sans engendrer de pression excessive qui pourrait déformer le ligament alvéolo-dentaire (Fig 3).

Lorsqu'un édentement terminal doit être réhabilité, le guide sera à appui muqueux en postérieur, et placé sans pression excessive sur cette partie qui risquerait d'entraîner sa bascule. [4,6].



Figure 3 : Guide chirurgical à support dentaire pour extraction et implantation immédiate par all on four. A noter les hublots au niveau des dents pour vérifier la position stricte du guide (Iconographie personnelle CHU Lille).

1.1.1.2 Guide chirurgical à appui muqueux et osseux

En présence d'un édentement complet, le guide chirurgical est à appui muqueux ou osseux. Dans ce cas, en technique traditionnelle, il est nécessaire au maxillaire de construire un guide radiographique dont le palais ainsi que les dents sont en un matériau radio-opaque, afin de délimiter avec précision l'appui du guide chirurgical. Il en va de même à la mandibule, où l'ensemble du guide radiologique doit-être radio-opaque.

Pour garantir le bon positionnement de la prothèse lors de la prise de la radiographie, il est indispensable de réaliser un mordue avec un matériau rigide, lors de la validation de l'occlusion du guide radiologique. [6]

- Guide à appui muqueux :

Le guide à appui muqueux est positionné sur de la muqueuse, il comporte des cales s'étendant de vestibulaire à lingual pour stabiliser partiellement l'occlusion, puis il est définitivement stabilisé par des vis de stabilisation. Ce type de guide est principalement utilisé chez l'édenté complet. La muqueuse est dépressible jusqu'à 3-4 mm lors de l'application du guide ce qui peut induire une bascule [1].

- Guide à appui osseux :

Le guide à appui osseux est directement en contact avec l'os après avoir soulevé un lambeau muco-périosté. Il est indiqué lors de grosses reconstitutions avec nécessité d'une régénération osseuse guidée (ROG), ou pour visualiser la crête lors de défauts osseux (crête en lame de couteau par exemple). Sa stabilisation est assurée par des cales en vestibulaires et lingual/palatin ainsi que par des vis de stabilisation [1].

1.2 La chirurgie implantaire assistée dynamique

La chirurgie dynamique assistée par ordinateur, a contrario de la chirurgie utilisant des guides, propose un outil de navigation en temps réel pour placer l'implant. Cette technologie utilise le suivi optique à l'aide de deux systèmes de mouvement optique : actif ou passif (Fig 4) [7].

- Matrice de suivi **actif** : émet une lumière infrarouge qui est suivie par des caméras stéréos.
- Matrice de suivi **passif** : la lumière est projetée vers le patient, puis réfléchiée par des matrices de suivi fixées au patient et à l'instrument chirurgical de suivi. Cette lumière va être captée par des caméras stéréos situées au-dessus du patient [7].



Figure 4 : Système X-Guide de chirurgie implantaire dynamique, avec caméra stéréo et instruments chirurgicaux de suivi ¹.

La position du patient et les instruments chirurgicaux sont déterminés par le système de navigation dynamique en temps réel [7].

¹ <https://x-navtech.com/>

1.2.1 Repère chez un patient denté

Un clip de repère est utilisé pour prendre une empreinte des dents du patient. Il doit être soutenu par les dents, et aller au même endroit dans la cavité buccale.

- Utilisation du clip [7]:

- La tomodensitométrie doit être prise avec le clip correctement placé sans aucune mobilité (les dents mobiles et fils orthodontiques doivent être évités).
- Le clip doit être fixé sur l'arcade qui va être implantée, et la section de fixation du bras de suivi utilisé lors de la chirurgie doit être située du côté vestibulaire.
- Le clip ne doit pas interférer avec la pose des implants, il doit minimiser les interférences optiques dues aux mains et aux instruments chirurgicaux en bouche.

- Prise de l'empreinte (Fig 5) [7]:

- Le clip contient du thermoplastique chauffé pendant plusieurs minutes avant d'être placé sur 3 dents à égale distance entre côté vestibulaire et lingual.
- Application d'une pression verticale jusqu'à contact entre les dents et le plastique rigide du clip.
- Après la prise de l'empreinte le clip est retiré sans mouvement de bascule puis refroidi dans de l'eau froide avant d'être essayé en bouche. On vérifie qu'il n'y ait ni déformation du clip, ni déformation des tissus mous.

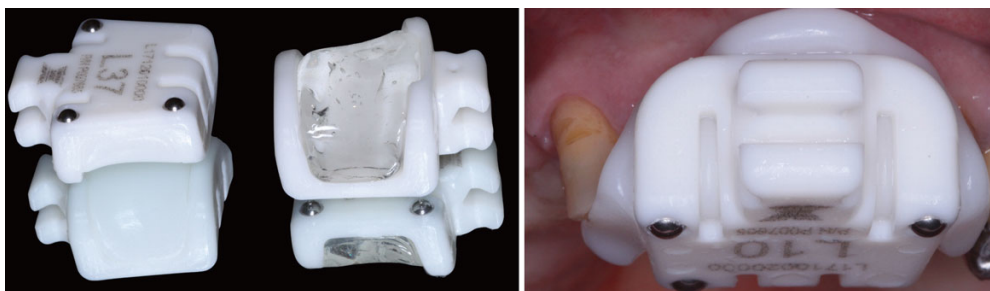


Figure 5 : X-Clip : le matériau thermo-formable permet de cliper le dispositif de façon stable, précise et reproductible ².

² <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/implantologie/chirurgie-assistee-par-ordinateur-la-navigation-dynamique-systeme-x-guide/>

1.2.2 Repère chez un patient édenté

La planification de la chirurgie nécessite le placement de repères (petites vis) dans l'os pour faciliter le scan. Ils peuvent être placés à travers les tissus mous grâce à de petites incisions apicales à la jonction muco-gingivale ou dans l'os après avoir élevé un lambeau [7].

Une plaque édentée sera alors placée lors de la chirurgie et répartie sur toute l'arcade, nécessitant au minimum 4 repères par plaque. Les éléments anatomiques comme le nerf alvéolaire et le nerf sous-orbitaire doivent être pris en compte et respectés lors du placement des vis [7].

1.2.3 Acquisition d'images et planification du logiciel

1.2.3.1 Acquisition d'images

- L'acquisition d'images s'effectue par la prise de fichiers 3D comme un CBCT, au format DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine).
- Le champ de focalisation du CBCT doit comprendre le site implantaire et les repères anatomiques.
- Le plan d'occlusion du site implantaire doit se situer parallèle au sol lors du scan, et il est nécessaire de séparer les tissus mous lors de la prise d'images. Il faut créer un contraste d'air entre la dentition et la muqueuse buccale/labiale à l'aide d'un rouleau de coton ou d'un matériau radio transparent [7].

Les méthodes utilisées pour l'acquisition des images rejoignent celles employées pour la chirurgie statique comme le double balayage (scan de la prothèse complète seule, puis scan du patient avec la prothèse en bouche), ou la numérisation des arcades par scan intra-oral [7].

1.2.3.2 Planification

Les images acquises doivent être exploitées dans un logiciel de planification implantaire (Ex : CoDiagnostix ; X Guide). Le logiciel doit répondre à certains critères [7]:

- Importer et exporter des fichiers au format .DICOM et .STL.
- Superposer ces fichiers 3D.
- Superposer les fichiers .DCM à double balayage
- Exporter les images dans un système de coordonnées commun en tant qu'élément individuel ou fusionné.

La planification est permise lorsque les images .STL du scan intra-oral sont superposées aux données du CBCT. Les images fusionnées permettent la visualisation des structures osseuses, dentaires, tissus mous ainsi que l'occlusion du patient nécessaire à la planification. La planification des implants doit être guidée par la restauration. Il faut d'abord évaluer l'occlusion puis placer la forme virtuelle de la future restauration dentaire dans la bonne position occlusale.

Lorsque la planification prothétique est finalisée, les implants virtuels peuvent être alignés sous les couronnes avec une émergence optimale. Les diamètres respectifs de la plateforme de l'implant et de l'apex, la longueur de l'implant, la hauteur et l'angle du pilier sont alors déterminés (Fig 6) [7].

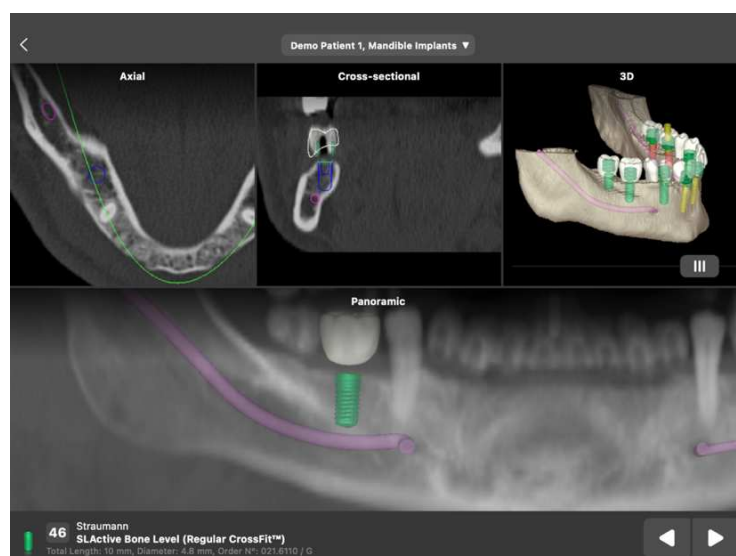


Figure 6 : Modèle de démonstration du logiciel coDiagnostiX (version d'essai disponible en ligne).

1.2.3.3 Etalonnage

Les instruments utilisés lors de la chirurgie (contre-angle, pièce à main droite) doivent être préalablement calibrés (Fig 7). La géométrie des réseaux de suivi (carreaux noirs et blancs) par rapport à l'instrument utilisé, doit être déterminée par le système de suivi; les caméras stéréos doivent apprendre leur géométrie [7].



Figure 7 : Tracker monté sur le contre-angle qui présente le foret au système à l'aide de la Go-Plate [8].

- Inscription/enregistrement [7]

Le système de navigation dynamique doit enregistrer la cartographie du réseau de suivi du patient, par rapport aux repères et donc aux implants prévus.

- Flux de travail [7]

Le contre-angle est étalonné grâce au flux de travail, puis un tracker de pièce à main y est ajouté. La caméra va lire les motifs sur le tracker pour le localiser. Le mandrin doit ensuite être calibré puis ajouté au contre-angle grâce à une Go-Plate. Cette plaque comporte le même type de géométrie sur sa surface que le bras de suivi et le tracker de pièce à main.

Le foret implantaire est placé sur la pièce à main puis sur la Go-Plate perpendiculairement à la cible présente sur la plaque. Sa longueur sera également calibrée par le système de navigation.

- Patient édenté [7]

Une sonde d'étalonnage doit être préalablement calibrée. La plaque de suivi sera apposée sur l'os après avoir élevé un lambeau là où il n'y a pas de vis de repères édentés (vu lors de l'acquisition du scan). Elle sera reliée à un bras de suivi du patient. La sonde va toucher les vis repères pour enregistrer le système de suivi du patient.

- Patient denté [7]

Le clip précédemment utilisé pour le scan est fixé à un bras de suivi pour enregistrer le système de suivi lors de l'étalonnage.

Lors de chaque changement de foret, un contrôle doit être effectué par le praticien pour vérifier que le système est bien calibré.

1.2.4 Temps chirurgical

Afin de vérifier le système de suivi, les repères anatomiques comme les dents adjacentes, les repères osseux proches du site implantaire, ou les repères de référence chez les patients édentés, devront être touchés par les instruments. Le praticien regarde l'écran qui indique :

- La profondeur en 10^{ème} de mm.
- La déviation angulaire de l'axe du foret par rapport à l'axe de l'implant prévu, au 10^{ème} de degré [7].

Le point bleu au niveau de la cible correspond à la pointe du foret, il est positionné au-dessus de la zone de forage. La tête du contre-angle est le petit cercle interne vert qui va être centré sur le point bleu pour déterminer l'axe de forage (Fig 8). L'indicateur de profondeur est le cercle externe qui passe du vert au jaune lorsque le foret est à 0,5mm de la profondeur souhaitée ; le rouge indique l'arrêt de l'ostéotomie [7].



Figure 8 : Placement de l'implant à l'aide du système de navigation [8].

1.2.5 Avantages

- Rapidité de mise en œuvre : le scan, la planification de la position de l'implant et la chirurgie peuvent s'effectuer le même jour et ne nécessitent pas une étape de laboratoire pour la fabrication du guide.
- Adaptabilité : la taille de l'implant, le système et les paramètres du positionnement de l'implant peuvent être modifiés en per-opératoire.
- Vérification en temps réel de la précision de la chirurgie.
- Patients avec ouverture buccale limitée : permet une visualisation directe à l'écran de l'axe lors de l'ostéotomie et de la pose.
- Espaces inter-dentaires étroits : un guide statique nécessite une distance mésio-distale minimale entre 2 dents afin d'avoir suffisamment d'espace pour la douille de guidage. A contrario, la chirurgie dynamique permet de placer un implant guidé dans un espace mésio-distal étroit [7].

1.2.6 Inconvénients

- Investissement financier important.
- Apprentissage informatique nécessaire.
- Matériel volumineux lors de la chirurgie (bras de suivi, plaque de suivi).
- Les patients édentés nécessitent préalablement une chirurgie pour placer les vis repères et les plaques de suivi.
- Long en peropératoire car nécessite de nombreuses manipulations.
- Le casque et les repères en bouche ne doivent pas bouger [7].

2. Facteurs influençant la précision en chirurgie implantaire assistée

2.1 Erreurs et imprécisions liées aux images radiographiques

Les données radiographiques issues du CBCT sont essentielles dans le flux de travail numérique en chirurgie implantaire assistée. Ce flux repose sur l'association entre les surfaces dentaires enregistrées par l'analyse intra-orale (empreinte numérique ou conventionnelle) et les données DICOM du CBCT, processus appelé **enregistrement** [9,10].

Des points de référence communs à ces deux ensembles de données vont permettre leur association, afin de réaliser la planification implantaire. La précision qui en découle impacte directement la précision de la chirurgie. Une erreur d'enregistrement peut entraîner un écart de la position finale de l'implant [9].

2.1.1 Choix du champ de vision du CBCT

Une étude menée par Hamilton *et al.* a voulu démontrer l'effet du champ de vision du CBCT (Fov : Field of View) sur la précision de l'enregistrement des données radiographiques. Réduire un champ de vision améliore la qualité des images mais pourrait impacter la précision de l'enregistrement [9].

L'étude s'est portée sur des CBCT à grand faisceau conique, et des scans intra-oraux de l'arcade complète (afin d'effectuer une comparaison des points de référence). Les arcades ne devaient présenter qu'une dent absente au maximum, et pas plus de deux restaurations [9].

Les CBCT sont séparés en petits scans représentant des sextants (antérieur, postérieur droit et gauche) à partir du scan grand Fov. Ensuite, trois points de référence sont sélectionnés sur le scan intra-oral numérique, pour correspondre à trois autres points sur les données CBCT, et former un tripode de correspondance (Fig 9) [9].

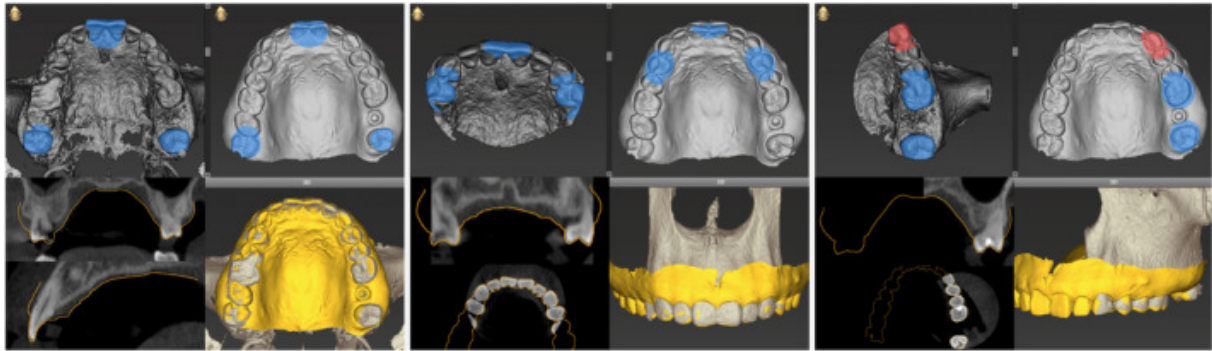


Figure 9 : Distribution des points de référence entre le CBCT et le scan intra-oral. La distribution des points dans le CBCT grand Fov est plus grande que dans les petits Fov [9].

- ➔ Des implants virtuels ont été placés dans chacun des trois sextants sur le grand champ de vision du CBCT.
- ➔ Des scans-bodys (corps numérisés) sont placés sur les scans intra-oraux au niveau des sites implantaire imaginaires (prévu par le logiciel de planification).
- ➔ Le scan intra-oral est enregistré 5 fois avec les CBCT petit et grand champ, pour chaque patient de l'étude (Fig 10) [9].

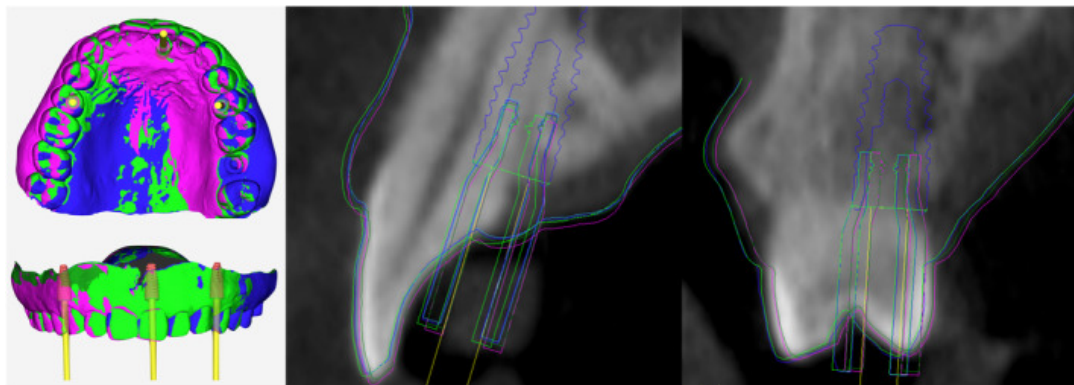


Figure 10 : Enregistrements répétés sur le même ensemble de données intra-oraux et CBCT [9].

- ➔ Après enregistrement, la divergence entre les implants est évaluée dans le logiciel coDiagnostiX. Il indique les positions de la base de l'implant et de l'apex par rapport à la planification.

La précision de l'enregistrement avec un petit champ de vision est cliniquement acceptable, s'il y a suffisamment de dents autour du site implantaire. Si le nombre de restaurations augmente, ou si les points d'enregistrement diminuent, on préférera un grand champ de vision [9].

Flugge *et al.* quant à eux, ont montré que l'influence des artefacts radiographiques sur la précision est plus importante en cas de diminution du nombre et de la répartition des points de repérage [9,10].

2.1.2 Erreurs de transfert de données du domaine clinique vers le logiciel : une importante source d'erreur

Des erreurs peuvent apparaître au cours du processus d'enregistrement des données DICOM et intra-orales. Les dents du patient constituent des zones compatibles pour faire correspondre ces images. Ces erreurs de transfert ont été démontrées dans une étude faite avec le logiciel coDiagnosiX (Dentalwings) [10,11].

2.1.2.1 Matériel et méthodes

Quatre examinateurs ont segmenté de deux manières différentes les données du CBCT afin de reconstruire un modèle anatomique tridimensionnel ; soit avec les paramètres par défaut fournis par le logiciel, soit avec les paramètres déterminés par chaque examinateur. Les patients ont été séparés en différents groupes en fonction du nombre de restaurations métalliques présentes en bouche, pour prendre en compte les interférences possibles [10].

L'examineur choisit trois à six zones de correspondance entre le CBCT et le scan intra-oral, dont au moins une dans chaque sextant. La précision de l'enregistrement a été effectuée en mesurant la distance entre le scan intra-oral et le CBCT, d'une part sur le modèle créé avec une segmentation par défaut, et d'autre part sur celui avec une segmentation manuelle (Fig 11) [10].

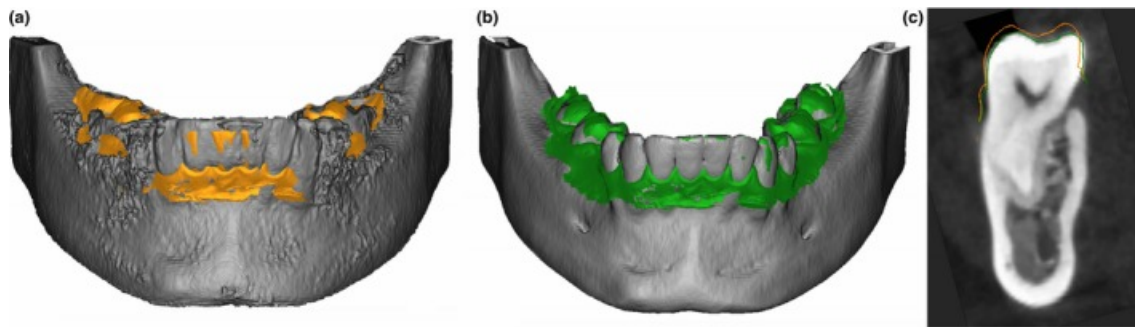


Figure 11 : a : segmentation par défaut - b : segmentation manuelle. Les zones jaunes et vertes sont la superposition du scan de surface intra-oral après enregistrement [10].

2.1.2.2 Résultats et conclusion

Les écarts entre les modèles de scan de surface intra-oral et du CBCT étaient de 0,54 mm en moyenne.

→ Avec la segmentation par défaut : 0,69 mm en moyenne.

→ Avec la segmentation manuelle : 0,4 mm en moyenne [10].

Le mode de segmentation a une forte influence sur la précision de l'enregistrement des données d'imagerie de surface. Les logiciels de planification virtuelle d'implants utilisent un enregistrement semi-automatique. L'utilisateur doit préférer réaliser une segmentation manuelle des données et des zones communes pour l'enregistrement des analyses de surface [10].

Les erreurs d'enregistrement peuvent survenir en fonction du choix des matériaux d'empreinte, des techniques d'impression, du choix de l'appareil de tomodensitométrie et de la méthodologie de la tomodensitométrie.

Le modèle créé à partir des images du CBCT ne permet pas de reconstituer les dents avec la précision nécessaire pour planifier correctement le projet implantaire. L'intégration d'un scan intra-oral est alors nécessaire (ou scan d'un modèle en plâtre préalablement coulé).

De plus, face à ce constat, Chackartchi *et al.* rapportent que lorsque le nombre de dents restantes en bouche est insuffisant, ou que le patient est édenté complet, la précision de la superposition des images diminue [11].

2.1.3 Positionnement/mouvement du patient pendant le CBCT

Lors d'un essai contrôlé randomisé, Vercruyssen *et al.* ont évalué les artéfacts dus aux mouvements du patient lors du scan (Fig 12). Les résultats de cette étude ont montré que chez les patients totalement édentés, un index occlusal permet de stabiliser la mandibule et la prothèse durant le CBCT. Par ailleurs, l'opérateur doit vérifier que le patient ne bouge pas pendant le processus de numérisation, puis doit vérifier l'absence de distorsion sur les images [12].

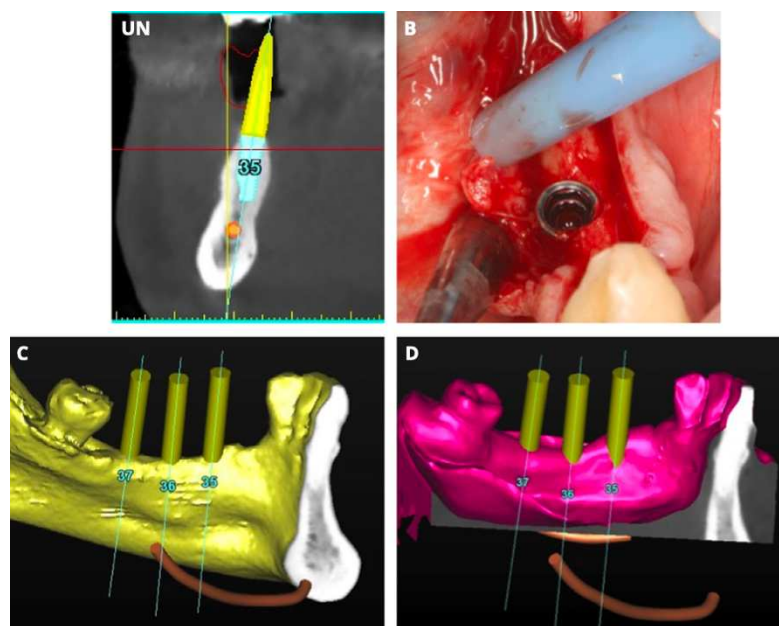


Figure 12 : Cas illustrant un alignement et un recalage incorrect entre le modèle virtuel et le modèle CBCT. L'implant en position 35 est en linguo-position par rapport à la planification [12].

2.2 Sources d'erreurs humaines et techniques en chirurgie assistée statique

2.2.1 Fabrication des guides chirurgicaux et type de guide

Lors de la fabrication d'un guide chirurgical, le processus de fabrication peut induire des imprécisions par rapport à la planification implantaire. Dans leur étude, Matta *et al.* ont voulu évaluer l'impact de la méthode de fabrication sur la précision tridimensionnelle. A la fabrication conventionnelle en laboratoire s'ajoute la conception et fabrication assistée par ordinateur (CAD/CAM) via une imprimante 3D [12,13].

Treize patients pour lesquels on devait poser un implant unitaire ont été inclus dans l'étude. Le modèle en plâtre scanné a permis de fabriquer un guide conventionnel thermoformé et un guide imprimé. Les 2 guides ont été scannés sur le modèle en plâtre respectif et les données ont été superposées [13].

La différence moyenne de l'angle était de 3,479°. Ainsi, même si les méthodes ont produit 2 guides significativement différents, elles sont néanmoins viables d'un point de vue clinique [13].

Kühl *et al.* ont quant à eux déterminé la précision de modèles imprimés après avoir scanné un modèle moulé, via le logiciel coDiagnostiX. Les positions des douilles ont été déterminées par balayage optique, et les écarts ont été comparés aux données virtuelles de la planification.

Les douilles présentaient comme variation moyenne :

- 0,22 mm au niveau du centre en haut.
- 0,24 mm au niveau du centre en bas.
- Déviation angulaire moyenne de 1,5°.

La fabrication de guides imprimés est donc d'une grande précision pour la chirurgie implantaire guidée [14].

2.2.2 Positionnement tridimensionnel d'un guide en intra-buccal par le chirurgien

La stabilisation du guide lors de la chirurgie va dépendre du type de guide utilisé : support dentaire, muqueux ou osseux (Fig 13).

Le guide à support osseux peut se déplacer fréquemment durant le forage nécessitant un contrôle régulier de sa position et de la profondeur de forage. Par ailleurs, en raison de l'interférence du lambeau avec le guide, l'ajustement peut également être impacté [12,15].

Pour les guides à support muqueux, il a été rapporté que la muqueuse joue un rôle prépondérant dans l'inexactitude globale de la chirurgie. L'épaisseur de la muqueuse affecte particulièrement la précision lors de la pose, si elle augmente la déviation augmente également. De plus, lors de l'anesthésie le gonflement de la muqueuse peut influencer le positionnement du guide. Le guide peut ainsi être fixé par des mini-vis pour gagner en stabilité [12,15].

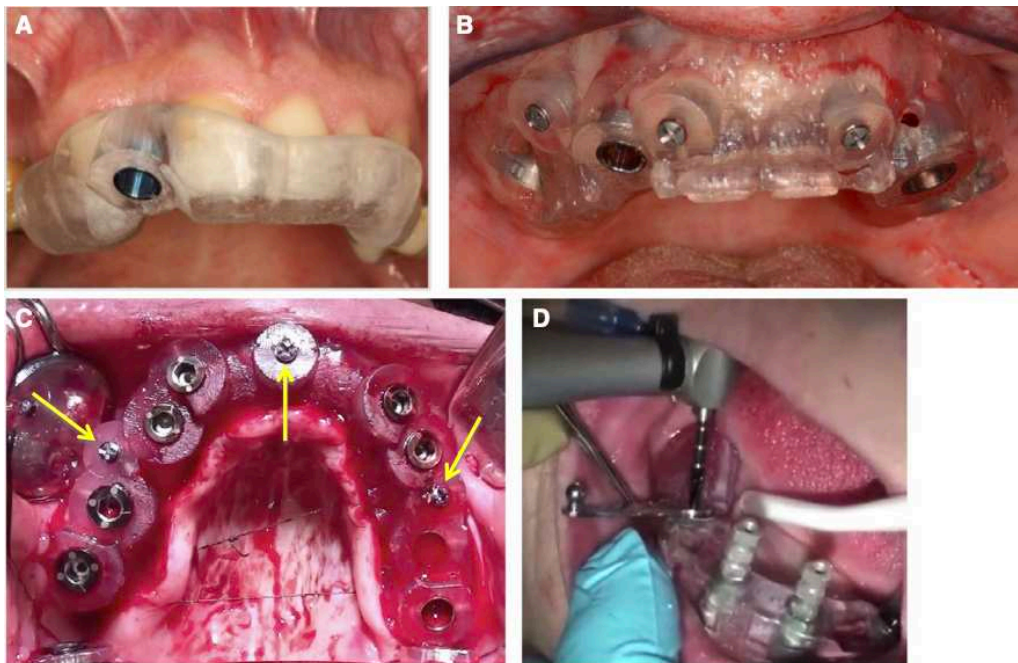


Figure 13 : Types de guides en chirurgie implantaire guidée : A : Support dentaire, B : support muqueux avec 3 vis de fixation, C : support osseux avec 3 vis de fixation, D : implants pris en charge pour soutenir le guide [12].

2.2.3 Localisation anatomique

La localisation du forage dans une zone postérieure peut induire une difficulté supplémentaire. Si le patient ferme soudainement la bouche une fracture du guide est possible, de même qu'une fracture des régions osseuses annexes.

La position de l'implant en cours de pose peut également être déviée si le patient ferme la bouche [12].

Le placement et le retrait du guide, ainsi que le positionnement des clés de guidage sont difficiles dans les zones postérieures. Vercruyssen *et al.* ont montré dans leur étude que 2 implants sur 212 n'ont pas pu être posés en raison de l'ouverture buccale limitée, ou qu'il a fallu réduire la taille de l'implant prévu [12].

2.2.4 Forage et composantes de forage

La technique de forage et ses composantes peuvent constituer une source d'erreur supplémentaire :

- Selon la tolérance du guide vis-à-vis de la rotation des forets dans les douilles.
- Si les forets sont droits ou coniques.
- Selon la hauteur de la douille et de la clé de forage.
- Si l'implant est posé ensuite à main levée ou guidé [12].

Les protocoles de chirurgie guidée peuvent employer plusieurs guides consécutifs avec un diamètre de forage croissant, ou utiliser un seul guide avec des clés de forage de diamètre croissant également apposées dessus tout au long de la séquence de forage. Actuellement, on préfère utiliser un seul guide afin d'éviter des problèmes de stabilisation à chaque changement de guide [12].

2.2.4.1 Interaction du guide avec les forets

La tolérance des forets dans le tube de forage et/ou les clés, peut être source d'erreurs liées à l'espace compris entre la douille de guidage et le foret, espace nécessaire pour une rotation sans frottements. L'impact sur la précision est proportionnel à la différence entre d'une part le diamètre du forêt et du tube de forage, et d'autre part la longueur du forêt.

Une différence de plus de 0,1mm entre le tube et le foret ; ou une augmentation de 5mm de la longueur du foret, peut induire une malposition à l'apex du foret de plus de 1mm [12].

Dans une étude in vitro, Laederach *et al.* ont évalué quatre systèmes d'implants différents de chirurgie guidée (Camlog Guide, Straumann Guided Surgery, SIC Guide et NobelGuide). Les douilles métalliques adaptées aux systèmes ont été insérées dans des boîtes en plexiglas, puis le forage a été effectué en appliquant des forces de manière excentrique. Les forets ont été maintenus dans le manchon dans une position centrée durant toute la procédure [16].

Des différences significatives de déviation angulaire ont été observées pour les quatre systèmes entre le forage centré sans forces appliquées, et le forage avec des forces excentriques. Ainsi, ils en ont conclu que le forage excentrique à travers les tubes et les clés a l'impact sur la précision le plus important [16].

Cependant, la réduction de la tolérance entre les forets et les clés est difficile à envisager en raison du frottement mécanique que cela implique, avec production de débris métalliques. Le clinicien doit donc veiller durant toute la chirurgie au bon axe de forage au sein du tube métallique [12,16].

Pour pallier ces paramètres et réduire le mouvement latéral du foret :

- La longueur du foret peut être réduite.
- Il est possible d'augmenter la hauteur du manchon et/ou de la clé de guidage.

Lors de chirurgies guidées à support dentaire et muqueux, ou lors de traitements de sites antérieurs, la hauteur du tube est souvent augmentée pour augmenter la précision [12].

L'usure des clés et des forets après une utilisation prolongée peut contribuer à l'imprécision en augmentant les tolérances entre les composants. Par ailleurs, l'anatomie du foret (conception cylindrique ou conique), influe sur la liberté de mouvement et la possibilité de déviation. Ce risque de déviation est notamment augmenté à la surface de l'os dans le cas de forets à conception conique [12].

2.2.4.2 Refroidissement de l'os

La chirurgie guidée statique, contrairement à la chirurgie à main levée, requiert généralement des forets plus longs, du fait de l'augmentation de la hauteur du tube de guidage et de la distance avec l'os.

Cette hauteur accrue, la friction qu'elle entraîne sur le tube, et les barrières physiques représentées par le tube et le guide lui-même, peuvent diminuer l'irrigation de la zone et du foret (Fig 14). Un refroidissement trop faible du foret implique une surchauffe de l'os et à terme une possible ostéonécrose thermique [12,17].

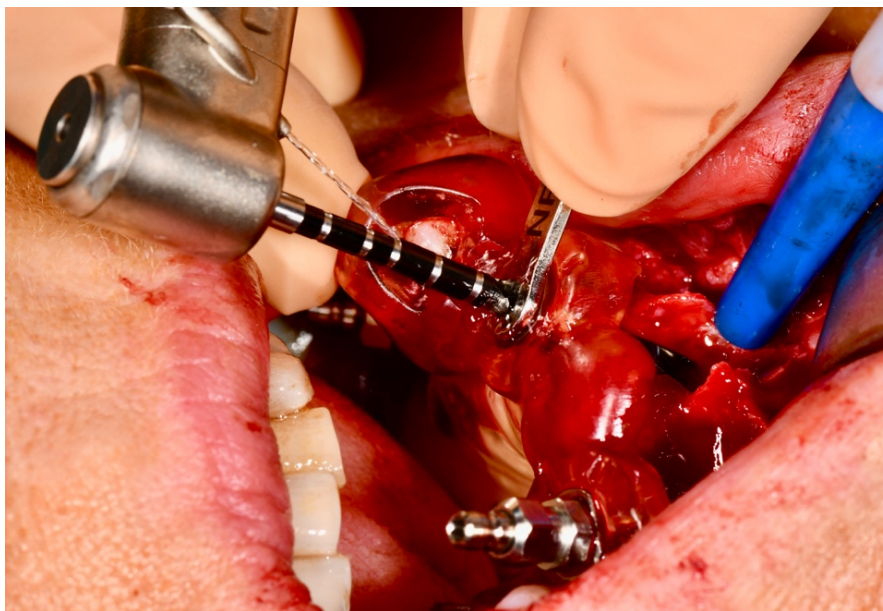


Figure 14 : Irrigation abondante et continue avec solution saline : la longueur du foret, la clé et le tube représente des barrières physiques au refroidissement (Iconographie personnelle CHU Lille).

Pour pallier cette surchauffe, plusieurs conseils :

- Effectuer un retrait fréquent des forets durant l'ostéotomie.
- Utiliser des forets avec un refroidissement interne.
- Appliquer une irrigation abondante et continue avec une solution saline froide [12].

2.2.5 Expérience de l'opérateur

Lors de la chirurgie, il est primordial de maintenir une parfaite position du guide, sans aucun mouvement de distorsion. L'expérience de l'opérateur dans ce contrôle peut être déterminante [12].

Un essai clinique randomisé a voulu analyser si une différence de précision existait entre la pose d'implants guidés chez des praticiens inexpérimentés d'un côté et expérimentés (plus de 500 implants posés) de l'autre. 33 implants et 37 implants ont été posés respectivement pour ces deux groupes. Un guide unique et trois vis de fixation pour immobiliser le guide ont été utilisés pour chaque chirurgie [12,18].

La précision de positionnement du guide a été définie comme un paramètre central pour analyser les écarts entre implants planifiés et implants posés. Les douilles de guidage sont maintenues dans la résine et correspondent aux positions planifiées des implants. Le centre (appelé « centre de masse ») des implants posés est ensuite comparé au centre de masse du guide. Une différence significative entre les centres de masse pré et post-opératoires a permis de conclure que l'écart était dû à une erreur de positionnement du guide, et non à une autre erreur [18].

La précision a été déterminée par appariement entre les images de la planification et la tomodensitométrie post-chirurgicale. Les données ont été illustrées à l'aide du diagramme en boîte, et le test t de Student a permis de comparer les valeurs de précision et de positionnement ; la signification a été fixée à $P \leq 0,05$ [18].

- Groupe inexpérimenté [18]:
 - Déviation coronaire : 0,75 mm en moyenne.
 - Déviation apicale : 1,02 mm en moyenne.
 - Déviation angulaire : 3,07° en moyenne.

- Groupe expérimenté [18]:
 - Déviation coronaire : 0,60 mm en moyenne.
 - Déviation apicale : 0,67 mm en moyenne.
 - Déviation angulaire : 3,21° en moyenne.

➔ Le groupe inexpérimenté a obtenu des meilleurs résultats en termes de déviation angulaire.

➔ En prenant en compte l'écart entre les centres de masses pré et post-opératoires, la valeur moyenne pour les 2 groupes est :

- Expérimenté : 0,23 mm.
- Inexpérimenté : 1,00 mm.

Le test t n'a pas montré de différence statistiquement significative lorsque les déviations coronaires ($P=0,125$), apicales ($P=0,060$) et angulaires ($P=0,859$) étaient prises en compte. Une différence statistiquement significative a été déterminée quand la déviation du centre de masse a été prise en compte, indiquant une erreur de positionnement plus élevée pour le groupe de chirurgiens inexpérimentés [18].

L'expérience de l'opérateur a eu une influence limitée sur la précision, mais a réduit l'erreur de positionnement à un degré statistiquement significatif.

En outre, l'opérateur doit avoir les compétences chirurgicales pour passer d'une chirurgie guidée à une chirurgie à main levée, si l'implant ne peut pas être posé de manière guidée adéquate [12].

2.3 Patient édenté total : défi de l'utilisation d'un guide

2.3.1 Tomodensitométrie et scan de surface

Chez un patient édenté total, l'absence de point de références constitue une difficulté importante pour l'étalonnage du patient vers le logiciel et inversement. Pour augmenter les points entre la tomodensitométrie et les images de numérisation de surface, plusieurs possibilités ont émergé :

- Oh *et al.* proposent d'intégrer des marqueur radio-opaques dans la muqueuse palatine.
- Widmann *et al.* ont démontré l'utilisation d'implants avec attaches sphériques comme référence.
- Chackartchi *et al.* suggèrent deux protocoles différents : celui de « rétraction complète » et celui de « billes », avec comme fil conducteur la visualisation des tissus sur les images radiographiques.

Les contours des tissus mous fournissent les points de référence pour superposer les images de la numérisation intra-orale et les images du CBCT (Fig 15) [11].

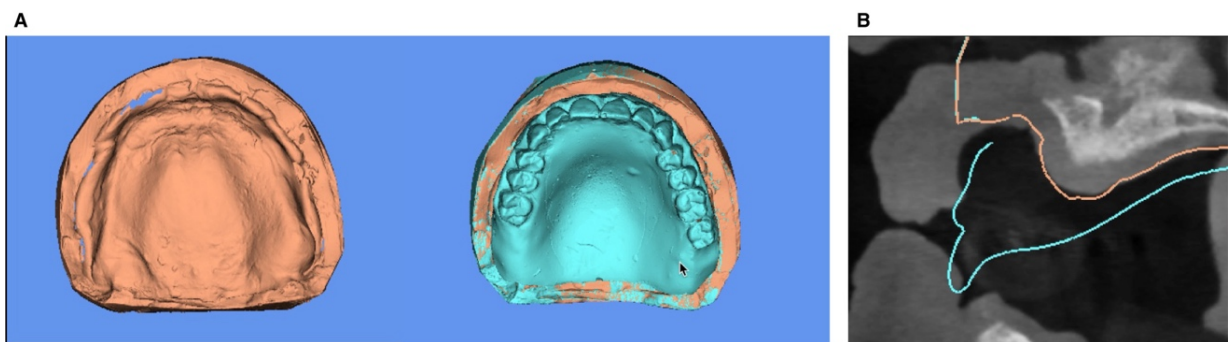


Figure 15 : Superposition des images du fichier STL de l'empreinte et du wax-up sur l'image de tomodensitométrie [11].

2.3.2 Vis de fixation

Afin d'éviter une compression des tissus lors de la pose du guide (avec bascule et soulèvement du côté opposé), il est possible de la fixer (Fig 16). Cependant, la position initiale du guide va déterminer la position finale des implants, car s'il a été mal positionné au départ, les vis de fixations vont perpétuer l'erreur [11].

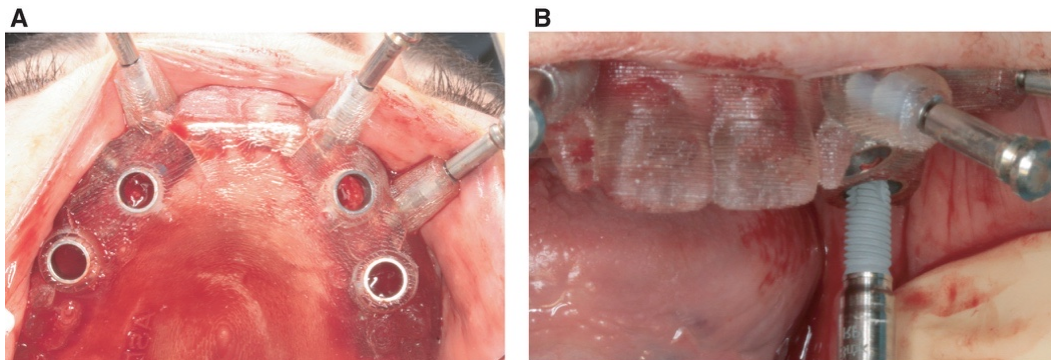


Figure 16 : Guide avec vis de stabilisation pour arcade totalement édentée [11].

2.3.3 Implants provisoires

Des petits implants provisoires peuvent être fixés préalablement au scan pour constituer des points de référence physiques (Fig 17). Tahmaseb *et al.* ont montré qu'une plus grande précision peut être atteinte avec ces petits implants pour soutenir le wax-up lors du CBCT et le guide chirurgical final. Ils agissent comme marqueurs lors de la superposition des images du patient vers le logiciel, et comme clé de positionnement du guide (logiciel vers le patient) [11].

Cependant cette technique comporte un risque non négligeable, car les petits implants sont placés préalablement à un CBCT et peuvent perforer l'os. Sur des crêtes édentées très atrophiques, le volume osseux résiduel oblige à poser ces implants généralement courts dans les zones postérieures de la mâchoire, où l'os est souvent dense. Le risque est qu'ils ne soient plus ostéo-intégrés entre le CBCT et l'intervention chirurgicale, il faut donc minimiser au mieux cet intervalle de temps [11].

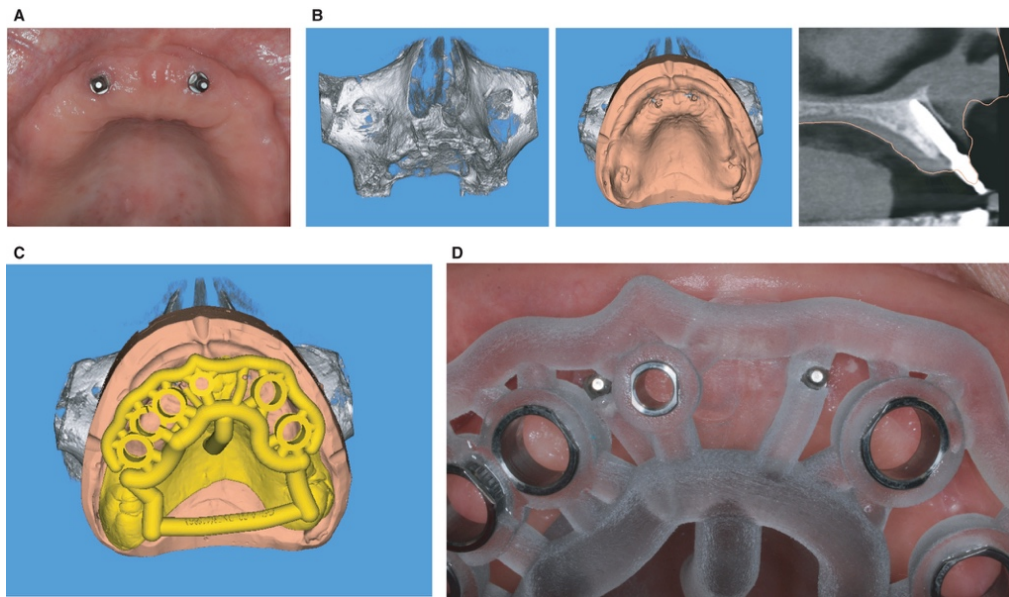
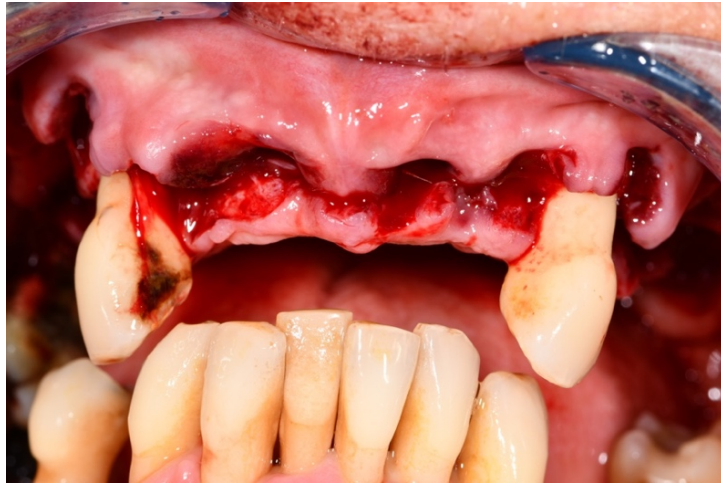


Figure 17 : Implants provisoires avant CBCT puis support du guide chirurgical [11].

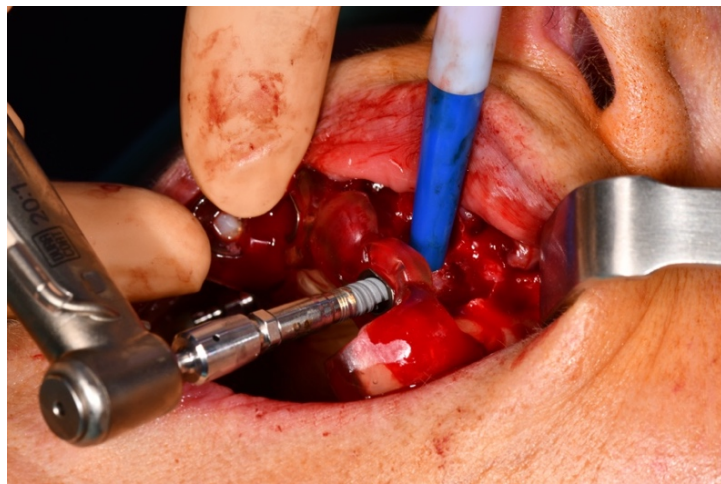
2.3.4 Implantation par étapes

Une implantation par étapes peut être entreprise dans le cas de dents ou racines résiduelles, afin de soutenir le guide avant l'extraction complète (Fig 18).

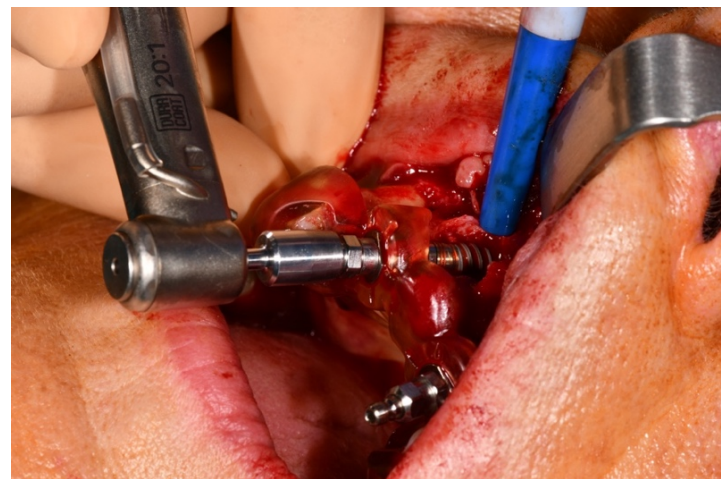
1. Le guide est soutenu par les racines/dents pour placer les implants entre elles dans les bonnes positions.
2. Les dents résiduelles sont extraites et le guide est fixé aux implants pour être stabilisé.
3. Mise en charge immédiate de la prothèse provisoire après réadaptation prothétique, pour la positionner de manière fidèle par rapport au projet prothétique (Fig 19).



A



B



C

Figure 18 : A : Dents résiduelles laissées en place. B : Placement des implants avec guide stabilisé par les dents et l'os. C : Placement des implants restants avec guide stabilisé par les premiers implants, et encore par les dents dans ce cas-ci (Iconographie personnelle CHU Lille).



Figure 19 : Bridge provisoire mis en place après réadaptation (Iconographie personnelle CHU Lille).

3.3.5 Guides à étages : une option pour la réhabilitation de l'édenté complet

3.3.5.1 Définition et conception

En chirurgie guidée statique, la conception de la prothèse provisoire posée le jour de la chirurgie a nécessité des empreintes (conventionnelles ou numériques) et une base d'occlusion. Cependant, cette méthode implique de réadapter la prothèse le jour de la chirurgie sur les implants positionnés.

Afin de contourner cette réadaptation et d'améliorer la mise en charge immédiate, les guides à étages ont été développés [19].

Les guides à étages sont constitués d'une base fixe et de plusieurs parties pouvant être assemblées et désassemblées facilement au cours des différentes étapes de la chirurgie (Fig 20). Cela va offrir une stabilité accrue durant les phases chirurgicales et prothétiques, afin de placer les implants selon le projet prothétique initial, et d'avoir une prothèse provisoire avec les bons rapports occlusaux. Le processus de conception des guides à étages suit les étapes du flux numérique des guides chirurgicaux statiques [19].

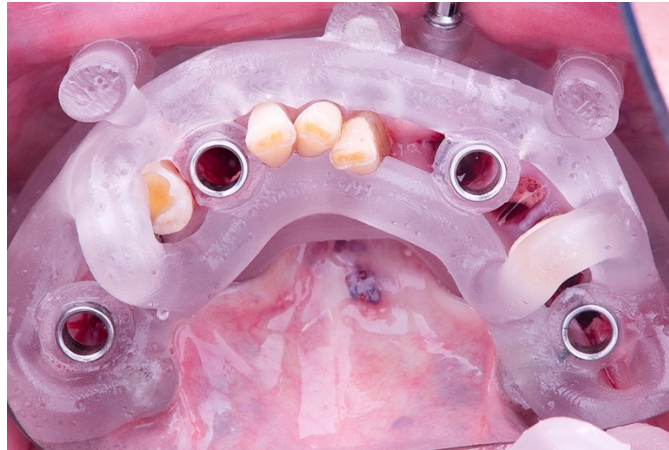


Figure 20 : Guide à étages prenant appui sur les organes dentaires restants³.

3.3.5.2 Eléments constituant le guide et moyens de liaison

- Guide d'appui/ de base (Fig 21) : principal élément, il constitue la base pour les futurs éléments apposés. La précision de la chirurgie découle de la bonne mise en place du guide d'appui. Cette base sera stabilisée à l'arcade par des clavettes équitablement réparties le long de la structure.
- Guide de positionnement de la base (Fig 21) : à appui dentaire si protocole d'extraction implantation immédiate, à l'aide d'implants résiduels, ou grâce à l'arcade antagoniste en occlusion.
- Guide de forage/ placement d'implants (Fig 21).
- Guide de résection osseuse/ alvéolectomie/ incision.
- Prothèse provisoire pré-usinée (Fig 21) [19].

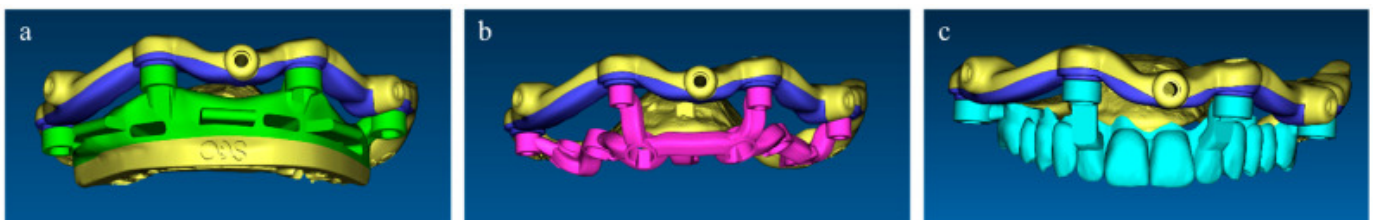


Figure 21 : Projet de guide à étages : (a) Guide de base (jaune et bleu foncé) avec guide de positionnement (vert et jaune) ; (b) Guide de base et guide de placement d'implants (rose fuchsia) ; (c) : Guide de base et prothèse provisoire (bleu cyan) [19].

³ <https://www.lefildentaire.com/articles/guide-a-etage-on/>

L'assemblage des différentes pièces du guide repose sur différents moyens de liaison possibles permettant d'offrir une stabilité adéquate durant la chirurgie (Fig 22) :

- Mécaniques : rainure, boîte, cupule sphérique, cône avec ou sans ailettes de rétention, vis, loquet.
- Magnétiques : aimant rond ou carré
- Magnétiques et mécaniques associés [19].

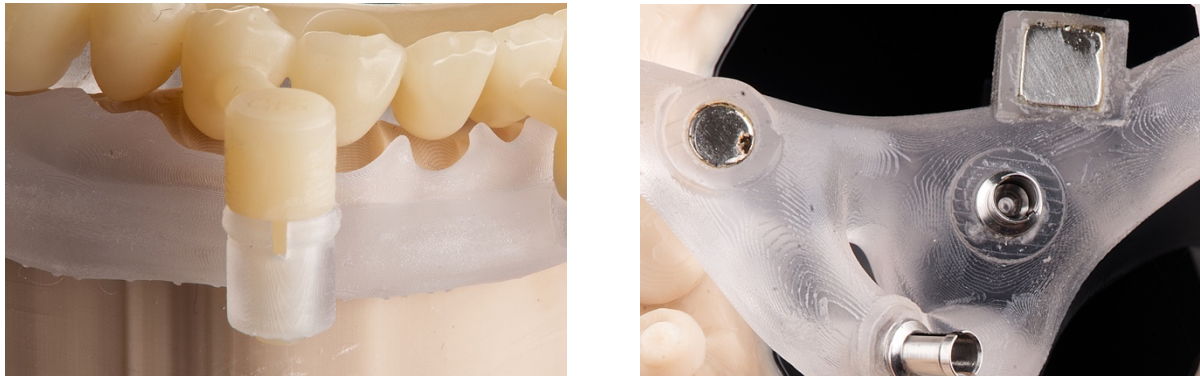


Figure 22 : Moyen de liaison mécanique et magnétique³.

3.3.5.3 Chirurgie

Le guide de base est relié au guide de positionnement qui est soutenu par la muqueuse, par les moyens de liaison. Dans certains cas, le guide de positionnement peut être placé en s'appuyant sur les dents restantes, ou en se servant de l'arcade antagoniste si dentée. Si le placement du guide de positionnement est validé, le guide de base sera ancré à l'os avec des vis en vestibulaire et palatin/lingual ; puis le guide de positionnement sera retiré (Fig 23).

Le guide de forage est accroché au guide de base pour réaliser l'ostéotomie et la pose des implants. Une fois les piliers provisoires vissés aux implants, la prothèse provisoire est fixée sur ces piliers pour effectuer la mise en charge immédiate (Fig 23) [19].



Figure 23 : Flux de travail chirurgical chez un patient édenté : (a) Guide de base connecté au guide de positionnement ; (b) Guide de base en position ; (c) Lambeau muco-périosté ; (d) Pose des implants ; (e) Prothèse provisoire reliée au guide de base (f) Prothèse provisoire en mise en charge immédiate [19].

19/08/2024 19:51:00

L'utilisation des guides à étages simplifie les phases opératoires depuis le positionnement du guide jusqu'à la pose de la prothèse provisoire, permettant ainsi de réduire le temps opératoire total et donc l'inconfort du patient. Ils permettent une visualisation accrue du site chirurgical, une bonne gestion des tissus mous, un refroidissement optimal des forets, et une vérification de la bonne mise en place de l'implant. La possibilité de placer la prothèse provisoire immédiatement après la chirurgie, sans modification de sa structure constitue le dernier avantage majeur de cette technique [19].

3. Comparaison de la précision en fonction des chirurgies assistées employées

3.1 Chirurgie guidée statique

3.1.1 Comparaison des différents types de douilles de guidage : ouvertes et fermées

La précision de la chirurgie implantaire guidée statique est influencée par de multiples facteurs, dont certains sont liés à la douille de guidage. En fonction de la localisation anatomique, une difficulté supplémentaire peut survenir pour une pose en zone postérieure. L'utilisation de manchons ouverts latéraux, qui permet l'insertion horizontale du foret, pourrait palier cette difficulté. L'espace inter-arcade minimum requis est alors réduit. Il en est de même pour l'échauffement osseux grâce à une meilleure irrigation sur le foret. Cependant, cela joue-t-il sur l'imprécision de la chirurgie [21,22] ?

Dans leur étude in vitro, Guentsch *et al.*, ont comparé l'exactitude de la chirurgie implantaire en comparant deux kits de chirurgie ; l'un à douilles fermées, et l'autre à douilles ouvertes (Fig 24). Ils ont également étudié la différence de précision entre les poses d'implants à main levée et les poses partiellement guidées [21].

3.1.1.1 Matériel et méthodes

Un sujet partiellement édenté (première molaire mandibulaire droite) a fait l'objet d'un CBCT pour répliquer sa mandibule en 120 exemplaires identiques. A partir des images 3D, un fichier STL a été créé pour une impression en stéréolithographie. Le guide s'étendait de la canine inférieure gauche à la 2^{ème} molaire inférieure droite [21].

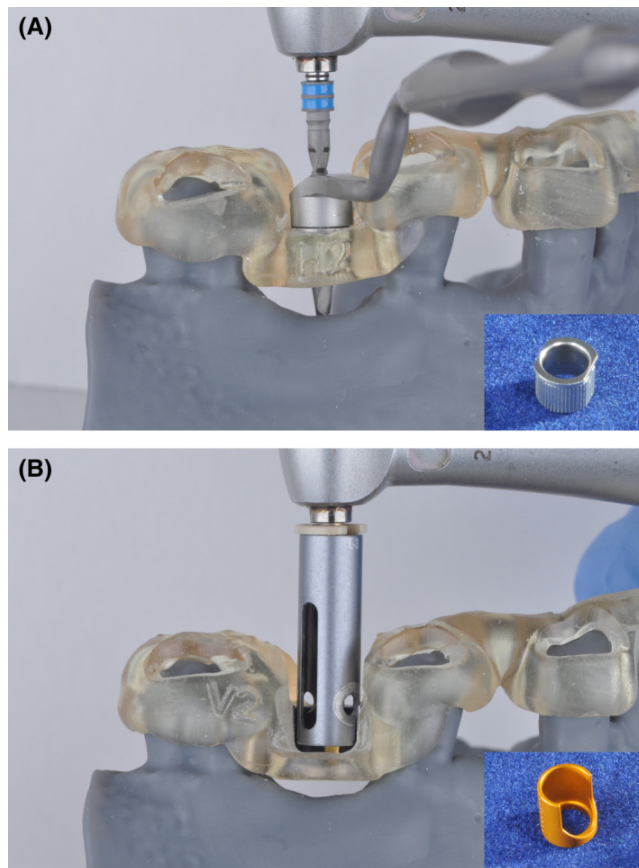


Figure 24 : (A) Douille fermée avec poignée de clé insérée et foret en place.
 (B) Douille ouverte avec fenêtre latérale et butée verticale [21].

- Chirurgie entièrement guidée : Douille fermée en T et ouverte en C.
 Les distances entre douille et os étaient respectivement de 2 et 4 mm (codées H2 et H4).
- Chirurgie partiellement guidée : Douille du diamètre du foret pilote.
 La distance entre la douille et l'os était de 2 mm.
- Groupes de traitement [21] :
 - Pour la chirurgie entièrement guidée, les implants ont été posés à travers le guide dans le groupe douilles fermées, mais sans guide dans le groupe douilles ouvertes.
 - Le guide du groupe partiellement guidé n'a été utilisé que pour le foret pilote.
 - Groupe à main levée : aucun guide utilisé pour le forage et la pose de l'implant.

- Acquisition des données [21] :
 - Les positions d'implants ont été scannées grâce au pilier (scan-boby) par un scanner intra-oral, puis superposées aux données de la planification.
 - La déviation 3D au niveau de la crête et de l'apex, la déviation angulaire, mésio-distale, vestibulo-orale et corono-apicale sur la crête et à l'apex ont été évaluées (Fig 25).

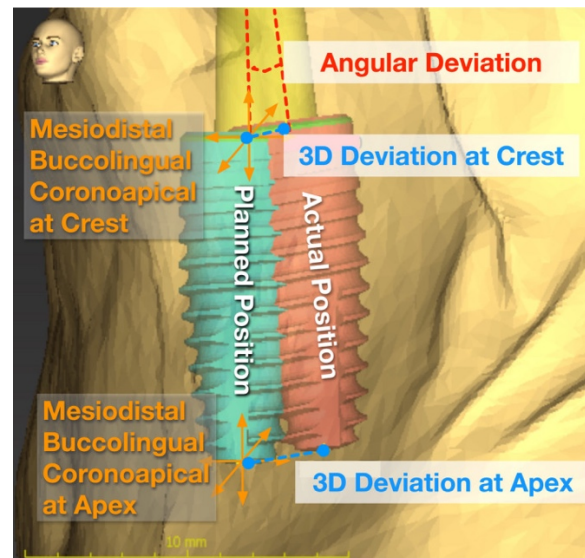


Figure 25 : Paramètres évalués lors de la comparaison entre la position planifiée de l'implant et la position réelle [21].

- Analyse statistique [21] :
 - Justesse : différence entre la position réelle et prévue avec $n = 20$ mesures par groupe.
 - Précision : distances entre chaque implant dans un groupe.

3.1.1.2 Résultats (Fig 26)

- Chirurgies entièrement guidées [21] :
 - Concernant l'angle de déviation, l'utilisation d'une douille (ouverte ou fermée) apporte une précision plus élevée que la chirurgie non guidée ou partiellement guidée.

- Hauteur H2 : Aucune différence de précision statistiquement significative entre le groupe douille ouverte ($1,35 \pm 0,64^\circ$) et fermée ($1,49 \pm 0,67^\circ$).
- Hauteur H4 : L'écart angulaire a augmenté, mais la différence n'était pas statistiquement significative par rapport à la hauteur H2.
- Chirurgie partiellement guidée [21]:
 - Déviation angulaire de $2,83^\circ \pm 0,79^\circ$ plus élevée que les groupes entièrement guidés avec H2 et H4.
- Chirurgie à main levée [21]:
 - Déviation angulaire la plus élevée ($3,58^\circ \pm 2,01^\circ$).

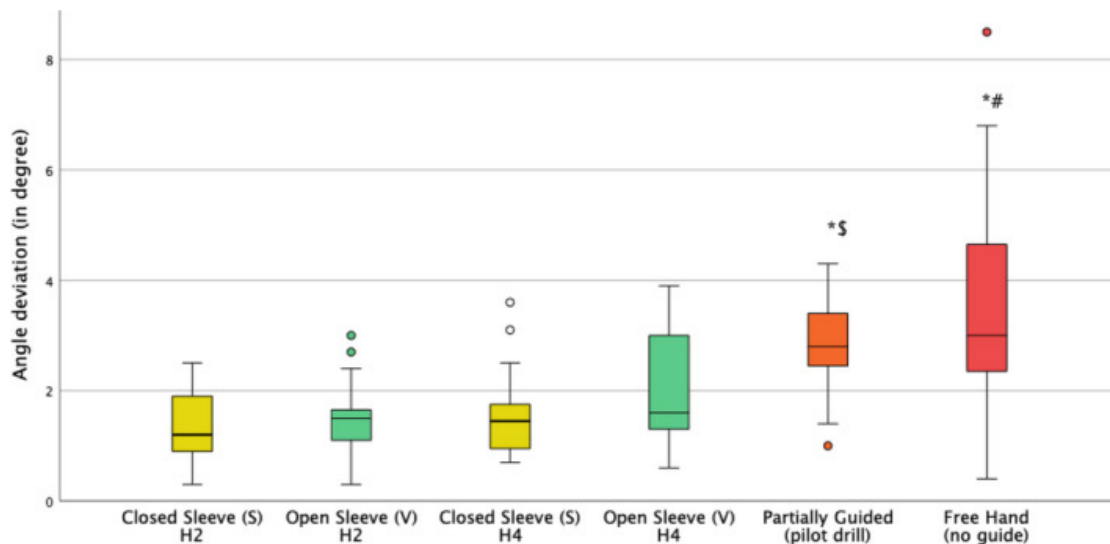


Figure 26 : Déviation angulaire pour les chirurgies guidées avec douille ouverte et fermée, partiellement guidée et à main levée [21].

19/08/2024 19:51:00

3.1.1.3 Discussion et conclusion

• Résultats [21]

Dans cette étude, pour une hauteur douille-os de 2mm, la précision de la pose guidée de l'implant était comparable quel que soit le type de douille. En revanche cette précision diminuait lorsque la distance avec l'os augmentait (H4), particulièrement dans le groupe ouvert.

- **Conclusion [21]**

Plus le manchon est proche de l'os, plus la chirurgie guidée (manchon ouvert et fermé) est précise.

La chirurgie partiellement guidée (guidage foret pilote) est moins précise que l'entièrement guidée, mais plus que la chirurgie à main levée.

3.1.2 Précision des guides chirurgicaux avec ou sans cylindre de guidage métallique

Afin de rendre le flux de travail chirurgical plus rapide et facilité, des guides ont vu le jour avec une absence de cylindre métallique. Ce concept a pour objectif de pouvoir mieux personnaliser le guide, notamment en réduisant l'espace mésio-distal nécessaire à l'intégration d'un cylindre métallique. Les guides peuvent être produits avec une fente latérale (buccale ou linguale), pour pallier la distance inter-arcade dans la zone molaire [21,22].

3.1.2.1 Tallarico *et al.* : un essai contrôlé randomisé

Tallarico *et al.* ont mis en place un essai contrôlé randomisé pour comparer le taux de survie des implants, les complications et la précision de la pose d'implants à l'aide de guides chirurgicaux, avec ou sans douilles de guidage métallique. Une comparaison entre douilles ouvertes et fermées a également été faite [22].

- Groupe témoin/contrôle : Implants planifiés placés avec un guide chirurgical comportant une douille de guidage métallique.
- Groupe test : Implants planifiés placés avec guide chirurgical comportant un guidage non métallique [22].

Les implants ont été posés sans élévation de lambeau si la gencive et la quantité d'os étaient suffisantes, sinon, un lambeau était surélevé puis suturé [22,23].

Après la pose de l'implant, les sites implantaire ont été scannés par empreinte numérique avec leurs piliers (scan-body), pour vérifier la position des implants posés. La précision a été définie ici par 3 paramètres : déviation horizontale, verticale et angulaire [22].

- **Résultats**

Tableau 1 : Analyse de la précision finale de l'implant : essai contrôlé randomisé Tallarico et al. [22].

	Groupe témoin	Groupe test
Angle (en degrés)	$2,25^{\circ} \pm 1,41^{\circ}$	$1,98^{\circ} \pm 2,38^{\circ}$
Plan horizontal (mm)	$0,52 \pm 0,30$	$0,61 \pm 0,49$
Plan vertical (mm)	$0,58 \pm 0,44$	$0,37 \pm 0,28$

- **Discussion**

Cette étude a permis d'observer une différence significative de précision en faveur des guides sans douilles de guidage métallique ; pour les données angulaires et de déviation verticale, mais pas pour la déviation horizontale [22].

Les guides sans douilles métalliques peuvent être personnalisés en cas de contact avec les tissus mous ou dur, mais pas les guides avec douilles métalliques ; un lambeau devra alors être relevé pour garantir un bon ajustement. Les guides sans douilles métalliques peuvent ainsi être plus facilement adaptés à l'anatomie du patient, augmentant la précision [22].

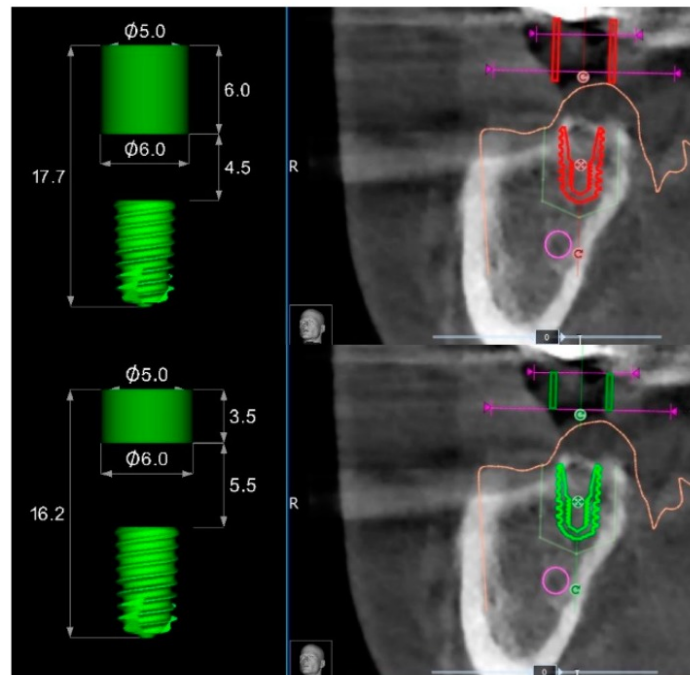


Figure 27 : Différences entre les gabarits chirurgicaux sans (en haut) et avec (en bas) douilles métalliques pour un implant de 7mm [22].

Les guides sans douilles métalliques offrent un canal de guidage pour les forets plus long permettant de réduire leur oscillation globale. Par ailleurs, l'espace mésio-distal est réduit comparé aux 0,5 à 1 mm de douille métallique supplémentaire, ce qui permet leur utilisation dans des espaces étroits comme les incisives mandibulaires ou les incisives latérales maxillaires (Fig 27) [22,24].

3.1.2.2 Tallarico et al. : une revue systématique

La revue systématique, comprenant l'essai contrôlé précédent, a évalué la possibilité d'une différence de précision entre les guides avec ou sans douilles de guidage métallique. Les études ont été sélectionnées selon le modèle PICO (population, intervention, comparaison, question de résultats) pour ne garder que les essais contrôlés randomisés et les études observationnelles in vivo [24].

Douze articles ont été retenus pour un total de 614 implants sur 264 patients :

- Sans douilles métalliques (groupe plastique) : 335 implants.
- Douilles métalliques (groupe métallique) : 279 implants [24].

Pour 7 études, la précision a été calculée en faisant correspondre le CBCT post-opératoire avec les données de la planification. Pour les 5 autres études, la position de l'implant a été évaluée grâce à la prise d'une empreinte numérique juste après la pose [24].

Trois paramètres de déviation (angulaire, vertical et horizontal) ont été évalués et les différences de précision moyenne sont les suivantes :

Tableau 2 : Différences de précision moyenne entre les deux groupes : Revue systématique Tallarico et al. [24].

	Groupe plastique	Groupe métallique
Angulaire (en degrés)	2,33° ± 2,01°	3,09° ± 1,65°
Vertical (en mm)	0,62 ± 0,36	0,95 ± 0,42
Horizontal (en mm)	0,62 ± 0,41	1,11 ± 0,57

Pour les 3 valeurs moyennes relevées, la déviation était moins importante dans les groupes sans douilles de guidage métallique.

Ici la méthode PICO n'a pas été entièrement respectée en raison de l'absence d'études sur les guides sans douilles métalliques pour des patients totalement édentés [24].

Sur les patients partiellement édentés, les implants posés avec des guides ne comportant pas de douille semblent être plus précis que ceux avec un guidage métallique, pour ces 3 données de déviation [22,24].

Cassetta *et al.* ont montré que placer une douille métallique dans le guide peut induire une erreur lors de sa fabrication. Par ailleurs, ces guides sont souvent utilisés avec des clés de réduction supplémentaires pour chaque foret de la séquence. Ce jeu, entre clé de réduction et douille d'une part, et entre clé et foret d'autre part peut être source d'imprécisions durant la chirurgie. Enfin, plus la partie de guidage est longue, avec utilisation de forets courts, et plus la précision peut être élevée [22,24,25].

3.1.3 Précision de la chirurgie guidée en comparaison de la chirurgie à main levée

3.1.3.1 Lou *et al.* un essai contrôlé randomisé [26]

Lou *et al.* ont voulu démontrer la précision de la chirurgie guidée en zone antérieure, corrélée à l'obtention de résultats esthétiques reproductibles.

- **Matériel et méthodes**

60 patients ont été répartis en 3 groupes : pose à main levée (groupe contrôle), pose partiellement guidée (groupe test 1) et pose entièrement guidée (groupe test 2). Chaque patient a eu un scan intra-oral et un CBCT en assignant les dents restantes comme point de référence pour l'enregistrement des données. L'implant virtuel a été placé selon le projet prothétique final, et le guide (chirurgie partielle ou totale), a été imprimé en 3D.

- Guide partiel : lambeau muco-périosté, ostéotomie guidée mais pose de l'implant à main levée.
- Guide total : lambeau muco-périosté, ostéotomie et insertion de l'implant guidée.
- Groupe contrôle : pose à main levée avec comme aide la planification virtuelle de l'implant sur le CBCT [26].

Un CBCT de contrôle a été réalisé 1 à 2 jours après la chirurgie. Ces données ont été appariées avec les données préopératoires, avec la méthode d'enregistrement des points de référence. Les déviations ont été mesurées en 3 dimensions : déviations angulaires, coronaires, apicales et de profondeur [26].

• Résultats

Tableau 3 : Moyenne des résultats des déviations entre les 3 groupes [26].

	Nombre d'implants posés	Angulaire (°)	Dévation coronaire (mm)	Dévation à l'apex (mm)	Profondeur
Main levée	30	6,61 ± 1,09	1,05 ± 0,17	1,36 ± 0,13	1,02 ± 0,13
Partiellement guidé	36	3,16 ± 0,70	0,69 ± 0,10	0,80 ± 0,08	0,52 ± 0,11
Entièrement guidé	33	2,05 ± 0,45	0,39 ± 0,12	0,28 ± 0,09	0,24 ± 0,06

- ➔ Plus la méthode de guidage augmente, plus la déviation de la pose diminue.
- ➔ La déviation angulaire, coronaire, apicale et de profondeur était la plus importante dans le groupe contrôle (pose à main levée) ; et la plus faible dans le groupe test 2 (pose entièrement guidée).
- ➔ La différence de déviation était moins importante dans le groupe entièrement guidé (groupe test 2) ; comparé au groupe partiellement guidé (groupe test 1) [26].

- **Conclusion**

Dans cette étude, et pour toutes les mesures effectuées, il a été montré que la déviation du placement de l'implant était diminuée grâce à l'utilisation d'un guide chirurgical. En outre, la pose entièrement guidée ainsi permise augmenterait d'autant plus la précision de la pose [26].

3.1.3.2 Précision en technique flapless entre chirurgie guidée et à main levée

La technique flapless (sans lambeau) est une chirurgie implantaire sans élévation d'un lambeau épithélio-conjonctif qui recouvre l'os alvéolaire. Pour accéder à l'os, soit on réalise une excision des tissus mous à l'aide d'un bistouri circulaire sur contre-angle ; soit on fait une préparation directe à travers les tissus mous lors de la réalisation de l'ostéotomie (Fig 28).

Cette technique de chirurgie ne s'applique que lorsqu'un seul temps chirurgical est souhaité pour la réhabilitation implantaire. Elle réduit le risque de complications post-opératoires et offre plus de confort au patient. Cependant, une étude minutieuse préalable des tissus mous et du site chirurgical est nécessaire pour poser l'indication de cette technique [23].

L'utilisation de la chirurgie guidée dans la technique flapless a permis son développement croissant, offrant des résultats plus prévisibles. Cependant, la seule utilisation d'un guide ne peut garantir des résultats 100% prédictibles en matière de précision [23].

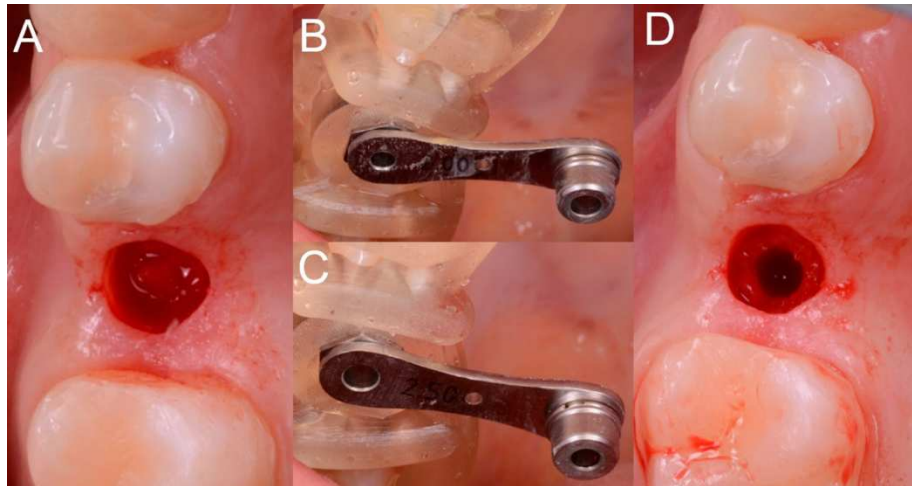


Figure 28 : Différentes phases de la chirurgie Flapless : (A) Mucotomie ; (B, C) Préparation du site implantaire avec clés de réduction ; (D) Vue occlusale après ostéotomie⁴.

Une étude réalisée avec la technique flapless dans le maxillaire antérieur de cadavres a comparé la précision de poses immédiates d'implants après extractions, entre chirurgie à main levée d'une part, et chirurgie guidée d'autre part [26].

- **Matériel et méthodes [26]**

Vingt-quatre sites implantaires sur 8 cadavres ont été répartis en 2 groupes : chirurgie guidée (n=12) et chirurgie à main levée (n=12). Les têtes préalablement décongelées n'étaient pas conservées dans du formol afin de garder les conditions tissulaires du réel.

Les critères d'inclusion étaient les suivants :

- Au moins une incisive maxillaire et sa controlatérale présentes et intactes.
- Pas de mobilité préalable.
- Assez de dents adjacentes pour supporter le guide à appui dentaire.
- Assez d'os à l'apex pour assurer une stabilisation primaire de l'implant.
- Pas de fenestration ou déhiscence vestibulaire/palatine autour de la zone d'extraction.
- Pas de restauration ou de traitement canalaire sur les dents adjacentes.

⁴ <https://www.erm-fabtest.com/blog/etude-clinique-de-chirurgie-assistee-en-dentisterie-par-dws-n39>

Les implants ont été planifiés sur le logiciel Blue Sky Plan 3 grâce aux données du CBCT préalablement enregistrées. Les guides chirurgicaux ont été imprimés en 3D par stéréolithographie.

L'étude a suivi un fonctionnement en bouche-divisée randomisé. Sur chaque tête, une incisive centrale (et/ou latérale) et la dent controlatérale ont été sélectionnées comme site d'étude ; pour ensuite être assigné au hasard dans un des deux groupes, afin que chaque tête reçoive au moins un implant de chaque groupe (chirurgie guidée ou à main levée).

Le CBCT post-opératoire a été comparé à la planification pour évaluer les déviations (Fig 29) :

- (a) : déviation globale et déviation angulaire (a : déviation apicale, c : déviation coronaire, α : déviation angulaire).
- (b) : écart de profondeur (d).
- (c) : déviation latérale (l : déviation latérale, b : déviation bucco-linguale, m : déviation mésio-distale).

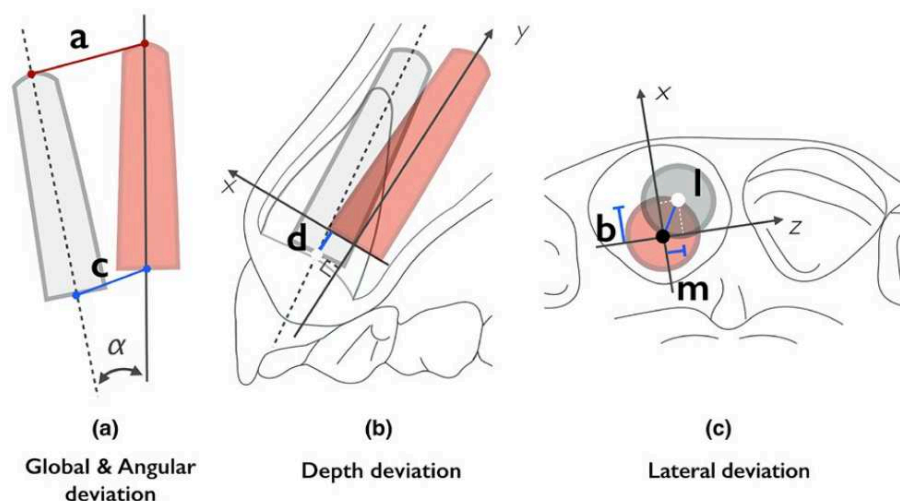


Figure 29 : Mesure des écarts entre implant planifié et posé [26].

- **Résultats [26]**

Tableau 4 : Ecart global (coronaire et apical), angulaire et de profondeur entre implants planifiés et posés.

	Chirurgie guidée (en mm)	Chirurgie à main levée (en mm)
Type de déviation		
Déviati on globale coronaire	0,85	1,43
Déviati on globale apicale	0,93	2,20
Angulaire	3,11	6,78
Profondeur	0,50	0,60

→ Une différence significative de précision est observée dans le groupe de la chirurgie guidée pour la déviation globale (coronaire et apicale), et angulaire, mais pas pour l'écart de profondeur.

Tableau 5 : Ecart de déviation latérale, bucco-linguale et mésio-distale entre implants planifiés et posés.

	Chirurgie guidée (en mm)	Chirurgie à main levée (en mm)
Type de déviation		
Latérale coronaire	0,62	1,09
Latérale apicale	0,73	2,04
Bucco-linguale coronaire	0,42	0,8
Bucco-linguale apicale	0,53	1,38
Mésio-distal coronaire	0,3	0,4
Mésio-distal apicale	0,43	1,12

→ La déviation latérale était significativement plus importante avec la chirurgie à main levée comparé au groupe guidé.

→ Pour les valeurs absolues de déviation bucco-linguale et mésio-distale, des déviations plus importantes significatives étaient présentes dans le groupe à main levée.

Les conséquences des malpositions des implants ont été répertoriées dans ce tableau, elles concernent les perforations du canal du nerf incisif et la création de fenestrations dans l'os vestibulaire.

Tableau 6 : Nombre de perforations entre chaque groupe [26].

	Guided surgery	Freehand surgery	p^a	Total
Incisor nerve canal invasion	12.5% (1/8)	37.5% (3/8)	0.57	25.0% (4/16)
Apical buccal bone penetration	8.3% (1/12)	25% (3/12)	0.59	12.5% (3/24)
Total	16.7% (2/12)	50% (6/12)	0.20	33.3% (8/24)

^aFisher's exact test, $\alpha = 0.05$.

→ Le total des conséquences de malposition, en %, est plus importante dans le groupe de chirurgie à main levée.

• Discussion et conclusion

Dans cette étude, la chirurgie guidée est plus précise que la technique à main levée pour les déviations globales (coronaire et apical) et angulaires ; et impliquait moins de conséquences dues aux malpositions [26].

Les résultats ont montré que les implants ont tendance à se déplacer dans le sens vestibulaire lors de leur insertion, à l'apex et au col (Fig 30). Cette déviation peut être expliquée par l'anatomie de l'alvéole qui repousserait les forets et l'implant du côté vestibulaire, en glissant le long de la paroi palatine. L'utilisation d'un guide pour la pose de l'implant aurait tendance à réduire ce décalage [26].

La stabilité des forets lors du forage peut être améliorée en utilisant un foret plus court, une clé et une douille plus longue, ainsi qu'en veillant à réduire la distance entre la douille et l'os [26].

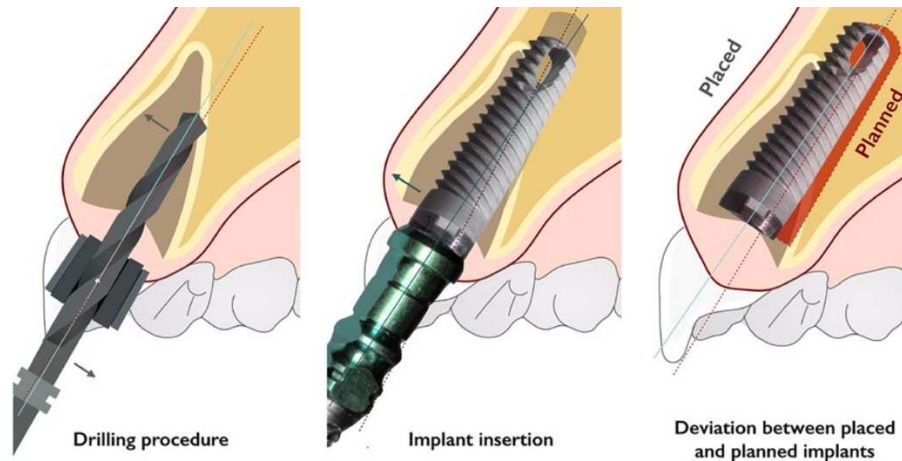


Figure 30 : Illustration de la tendance pour un implant placé immédiatement d'être dévié en fonction de l'anatomie de l'alvéole [26].

3.1.3.3 Autre étude

- **Essai clinique randomisé [27]**

Younès. F *et al.* ont étudié la pose d'implants dans le maxillaire postérieur, en répartissant des patients nécessitant la pose d'au moins 2 implants en 3 groupes : entièrement guidée, partiellement guidée, et à main levée. Les positions idéales ont été déterminées après association des données CBCT aux données optiques du scan du wax-up prothétique. La déviation globale apicale (AGD) a été la principale valeur de l'étude.

- ➔ Entièrement guidée : AGD moyen : 0,97 mm
- ➔ Partiellement guidée : AGD moyen : 1,43 mm
- ➔ Main levée : AGD moyen : 2,11 mm
- ➔ Les résultats concernant les autres données de variation sont du même ordre.

Conclusion : La chirurgie guidée, dans cette étude, apporte un positionnement plus précis de l'implant comparé à la chirurgie à main levée, avec comme référence la planification implantaire préopératoire.

3.1.4 Chirurgie entièrement guidée comparée à la chirurgie partiellement guidée

3.1.4.1 Ngamprasertkit *et al.* [28]

Ngamprasertkit *et al.* ont voulu évaluer la précision de la pose d'implants unitaires à l'aide d'un guide de forage supporté par la dent (partiellement guidé) et d'un guide de foret chirurgical avec guide d'insertion d'implant (totalement guidé), dans une procédure totalement numérique (Fig 31) [28].

- **Matériels et méthodes**

Cette étude s'est déroulée sous la forme d'un essai clinique contrôlé randomisé. La taille de l'échantillon a été calculée en prenant la moyenne et l'écart type (SD) de l'écart global au sommet de l'implant.

- Procédure de planification et d'examen [28] :

- CBCT préopératoire et scanner intra-oral : les fichiers d'images numériques intra-orales et les DICOM du CBCT ont été fusionnés grâce au logiciel Planmeca™.
- Une conception virtuelle de la dent et la position prévue de l'implant ont été planifiées en fonction du projet prothétique.

- Randomisation [28] :

- L'enquête en aveugle a utilisé un logiciel pour randomiser les sujets en deux groupes égaux :
 - 1^{er} groupe : pose d'implants à l'aide d'un guide de forage chirurgical (SDG : surgical drill guide).
 - 2^{ème} groupe : guide de forage et guide d'insertion d'implants (SDIG : surgical drill implant guide).

- Procédures chirurgicales et collectes de données [28] :
 - Les gabarits chirurgicaux comportaient des douilles de diamètre croissant pour le forage et l'insertion.
 - Groupe 1 : l'implant a été posé à main levée suite au forage séquentiel.
 - Groupe 2 : implant posé grâce au guide.

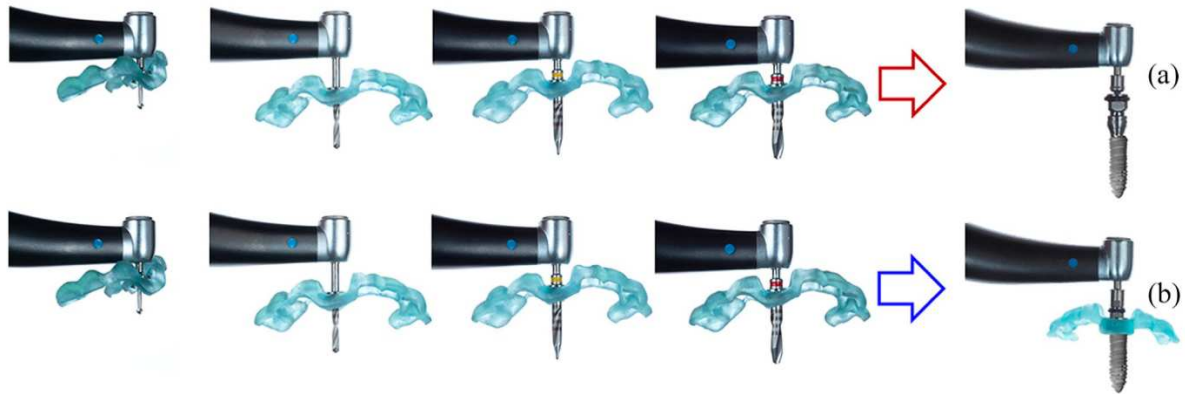


Figure 31 : (a) : Guide de forage chirurgical et insertion d'implant à main levée. (b) : Guide de forage chirurgical et guide d'insertion d'implant [28].

➔ La comparaison entre les positions des implants planifiées et réelles a été déterminé par le logiciel Planmeca™ en superposant les images du CBCT pré et post-opératoire (Fig 32) [28].

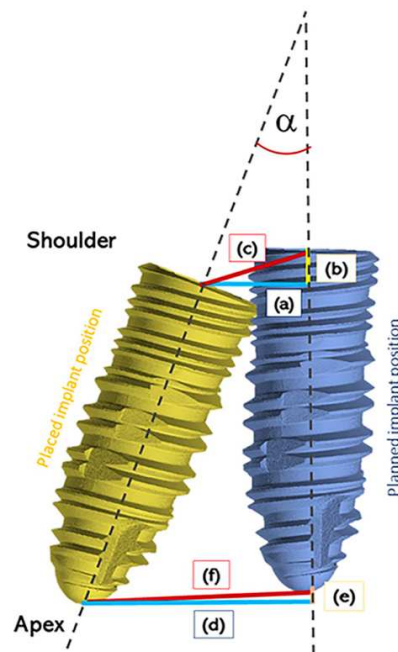


Figure 32 : Paramètres d'écart entre la position prévue de l'implant (bleu) et la position de l'implant posé (jaune) [28].

- (a) écart horizontal de la base (mm).
- (b) écart vertical de la base (mm).
- (c) écart global de la base (mm).
- (d) déviation horizontale apicale (mm).
- (e) déviation verticale apicale (mm).
- (f) déviation globale apicale (mm).
- (α) déviation angulaire (degrés).

• Résultats

Tableau 7 : Ecart totaux par rapport à la position réelle de l'implant [28].

		Surgical drill guide (SDG)	Surgical drill guide with implant insertion guide (SDIG)
Base (en mm)	Horizontal	$0,57 \pm 0,39$	$0,39 \pm 0,26$
	Vertical	$0,36 \pm 0,27$	$0,19 \pm 0,14$
	Global	$0,74 \pm 0,36$	$0,48 \pm 0,22$
Apex (en mm)	Horizontal	$1,17 \pm 0,68$	$0,64 \pm 0,37$
	Vertical	$0,37 \pm 0,27$	$0,20 \pm 0,13$
	Global	$1,29 \pm 0,61$	$0,71 \pm 0,31$
Déviation angulaire (en °)		$3,44 \pm 1,61$	$2,03 \pm 1,00$

➔ La déviation horizontale moyenne à l'apex dans le groupe SDIG ($0,64 \pm 0,37$ mm) est inférieure au groupe SDG ($1,17 \pm 0,68$ mm).

➔ L'écart horizontal au niveau de la base de l'implant n'a cependant pas de valeur significative ($p < 0,05$).

➔ Les écarts verticaux au niveau de l'apex dans le groupe SDIG ($0,20 \pm 0,13$ mm) étaient inférieurs à ceux du groupe SDG ($0,37 \pm 0,27$ mm).

- **Discussion**

Cette étude a montré que l'utilisation d'un guide de forage avec guide d'insertion d'implant pouvait réduire les écarts de mesure.

En moyenne, le groupe ayant montré le moins d'écarts statistiquement significatif par rapport à la position prévue de l'implant est le groupe SDIG, pour tous les résultats [28].

L'écart vertical moyen entre les deux groupes n'était que de 0,16 mm, cela est expliqué par la longueur limitée du forage et les points de références suivants :

- Profondeur d'insertion de l'implant limité par la longueur des forets et leurs stops lors de l'ostéotomie.
- La jonction émail-cément : point de référence pouvant être utilisé pour l'arrêt de l'insertion de l'implant [28].

L'écart le plus important constaté est l'écart global : il résulte de la combinaison de l'écart vertical et de l'écart horizontal [28].

Cette étude a voulu évaluer un seul type de guidage parmi plusieurs systèmes de guidages statiques, à savoir le tube et le foret ; tandis que le guide de forage chirurgical et le guide d'insertion d'implants étaient séparés. Certains systèmes proposent les deux guides combinés en un.

Par ailleurs, les poses d'implants sélectionnées pour cette étude se situent dans la région antérieure ou prémolaire pour ne pas faire intervenir le facteur liée à l'ouverture buccale.

La limite de l'étude pourrait être la prise de mesures bidirectionnelles alors qu'un logiciel de mesure tridimensionnelle serait requis pour une étude future sur la comparaison entre SDG et SDIG [28].

3.1.5 Synthèse sur la comparaison des chirurgies entièrement guidées, partiellement et à main levée, à travers une revue systématique et méta-analyse.

Le principal objectif de la revue menée par Gargallo-Albiol *et al.* est de comparer ces 3 méthodes de chirurgie grâce aux données d'essais cliniques randomisés. La durée de l'intervention chirurgicale a été analysée en objectif secondaire, car elle est un facteur non négligeable pour la réussite du traitement implantaire [29].

La méthode PICO (Patient, Intervention, Comparaison, Résultats) a été utilisée pour la sélection des études :

- P : Patients devant recevoir une pose d'implants.
- I : Chirurgie implantaire entièrement guidée.
- C : Chirurgie de pose d'implant semi-guidée ou à main levée.
- O : Comparaison entre ces 3 approches chirurgicales avec les données de déviation horizontale moyenne, apicale moyenne et angulaire moyenne [29].

• Résultats

Dix ECR (essais contrôlés randomisés) ont été inclus dans la méta-analyse pour un total de 489 patients et 1256 implants (747 entièrement guidés, 252 semi-guidés, 257 à main levée).

- Six études portaient sur des patients partiellement édentés.
- Deux sur des patients édentés complets.
- Les deux dernières portent sur les 2 types d'édentement [29].

Tableau 8 : Présentation générale des essais inclus dans la méta-analyse [29].

Study (year)	Study design	Follow-up	Comparison protocols	Total number of patients/implants	Edentulism (full/partial/single implant)	Arch	Navigation system and software	Type of support	Implant characteristics	Site, setting, and funding
Farley et al ¹⁰ (2013)	RCT	CBCT post-surgery	Fully guided versus half-guided	20/20	Single implant	Maxilla, mandible	iDent	Tooth	Biomet 3i Certain	Ohio State University, partially supported by Biomet 3i
Pozzi et al ⁹ (2014)	RCT	CBCT post-surgery	Fully guided versus freehand	51/202	Full/Partial edentulous	Maxilla, mandible	Brånemark System Guided Surgery	Tooth, mucosa	NobelSpeedy Groovy (Nobel Biocare)	Italian private centers, no funding
Vercruyssen et al ²⁵ (2014)	RCT	CBCT post-surgery	Fully guided versus half-guided and freehand	72/314	Full edentulous	Maxilla, mandible	Simplant (Materialise), Facilitate system	Mucosa, bone	OsseoSpeed Astra Tech (Dentsply)	Leuven University, partially supported by Dentsply and Materialise
Vercruyssen et al ²⁶ (2015)	RCT	CBCT post-surgery	Fully guided versus half-guided and freehand	72/311	Full edentulous	Maxilla, mandible	Simplant (Materialise), Facilitate system	Mucosa, bone	OsseoSpeed Astra Tech (Dentsply)	Leuven University, partially supported by Dentsply and Materialise
Amorfini et al ¹³ (2017)	RCT	CBCT post-surgery	Fully guided versus half-guided	24/70	Partial edentulous	Maxilla	coDiagnostX (Straumann)	Tooth	Straumann Bone Level	University of Genova, no funding
Younes et al ¹² (2018)	RCT	CBCT post-surgery	Fully guided versus half-guided and freehand	32/71	Partial edentulous	Maxilla	Max, Mand Simplant (Materialise) Facilitate system	Tooth	OsseoSpeed Astra Tech (Dentsply)	Brussels University, partially supported by Dentsply
Schneider et al ²⁷ (2018)	RCT	STL post super-impost to 3D pre	Fully guided versus half-guided	73/73	Partial edentulous	Maxilla, mandible	Simplant (Dentsply Sirona)	Tooth	Astra Tech Implant System (Dentsply Sirona Implants) or Straumann	University of Zurich, partially supported by Dentsply Sirona and Swissmeda
Tallarico et al ²⁹ (2018)	RCT	5 years	Fully guided versus free-hand	20/62	Partial edentulous	Maxilla, mandible	Nobel Biocare	Tooth	NobelSpeedy Groovy (Nobel Biocare)	Italian private centers, no funding
Smitkarn et al ³⁰ (2019)	RCT	CBCT post-surgery	Fully guided versus half-guided	52/60	Single implant	Maxilla, mandible	coDiagnostiX (Straumann)	Tooth	Straumann Bone Level	Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, university funding
Schneider et al ²⁸ (2019)	RCT	STL post super-impost to 3D pre	Fully guided versus half-guided	73/73	Partial edentulous	Maxilla, mandible	Simplant (Dentsply Sirona), SMOP (Swissmeda)	Tooth	Astra Tech Implant System (Dentsply Sirona Implants) or Straumann	University of Zurich, partially supported by Dentsply Sirona and Swissmeda

RCT = randomized clinical trial; STL = surface tessellation language.

Tableau 9 : Gains de précision entre les chirurgies : méta-analyse Gargallo-Albiol et al. [29].

	Entièrement guidée vs semi-guidé	Entièrement guidée vs à main levée	Commentaire
Déviaton coronale	+ 0,51 mm	+ 1,18mm	
Déviaton apicale	+ 0,75 mm	/	Pas de méta-analyse pour le groupe à main levée.
Déviaton verticale	+ 0,23 mm	+ 0,17 mm	Non significatif.
Déviaton de l'angle apical	+ 3,63°	/	Pas de méta-analyse pour le groupe à main levée.
Durée intervention	9,17 min	5,81 min	Non significatif.

• Discussion et conclusion

La technique de chirurgie entièrement guidée offre le système le plus précis, tandis que la technique à main levée présente la moins grande précision parmi les trois techniques testées [29].

La différence non significative relevée concernait la déviation verticale, comme dans l'étude de Younes *et al.*. En revanche, dans les études de Vercruyssen *et al.* et Farley *et al.* il était relevé une plus grande imprécision dans la dimension verticale par rapport à la dimension horizontale, et ceci s'expliquerait par :

- L'instabilité de certains guides entièrement guidés.
- L'absence de butée physique verticale de certains guides complets, la profondeur de préparation étant vérifiée pendant le forage [27,29–31].

Par ailleurs, pour chaque étude, il est important de noter que le support du guide chirurgical (lié au type d'édentement), et l'expérience du praticien interviennent dans la précision [29].

3.1.6 Précision selon l'édentement et le type de support

La précision de la chirurgie guidée peut être influencée par le type de support sur lequel repose le guide (dentaire, osseux ou muqueux) et également selon sa méthode de fixation supplémentaire (vis).

3.1.6.1 Précision de la pose d'implants guidée chez les patients partiellement édentés

Selon les protocoles de planification et les techniques chirurgicales, des erreurs dans chaque étape de la chirurgie guidée peuvent entraîner des imprécisions dans le placement des implants, notamment chez les édentements partiels rapportés dans la classification de Kennedy-Applegate [32].

Une revue systématique et méta-analyse a été menée en 2022 par Putra *et al.* pour évaluer la précision de la chirurgie guidée chez les patients partiellement édentés, ainsi que les facteurs d'influences possibles. L'objectif étant de justifier l'indication de la chirurgie guidée [32].

- **Matériel et méthodes**

Cette revue a employé la méthode PICO pour sélectionner dans la base de données Pubmed et Cochrane les articles pour lesquels :

- Une chirurgie guidée était réalisée sur plus de 10 patients.
- La chirurgie était pratiquée sur des patients partiellement édentés.
- Les paramètres de précision comprenaient au moins la déviation angulaire, la déviation coronale au point d'entrée, et la déviation apicale à l'apex de l'implant [32].

Deux examinateurs ont extrait et vérifié les données des articles pour qu'ils soient conformes aux critères d'inclusion et d'exclusion, et ont comparé les 2 groupes en se basant sur les facteurs suivants :

- L'arc : précision selon l'arc maxillaire ou mandibulaire.
 - L'espace édenté : précision en fonction d'un espace édenté délimité (BES) ou d'extension distale (DES).
 - La méthode de fabrication du guide chirurgical : guide fabriqué par méthode conventionnelle ou par CAD/CAM.
 - Le protocole de chirurgie guidée par ordinateur : forage pilote ou pose entièrement guidée [32].
- Mesure des résultats [32] :
- Déviation angulaire (en degrés)
 - Déviation coronale (en mm)
 - Déviation apicale (en mm)
 - Ecart de profondeur (en mm)

• Résultats

Après évaluation des critères d'inclusion, 18 études ont été retenues dans cette revue systématique avec au total : 642 patients et 1317 implants dans six essais contrôlés randomisés (ECR), neuf études prospectives et trois études rétrospectives.

Pour transférer les données intra-orales vers un logiciel de planification, trois techniques différentes sont utilisées :

- Numérisation extra-orale (numérisation optique du modèle en plâtre).
- Numérisation intra-orale.
- Numérisation radiographique avec marqueurs radio-opaques.

Ces études ont utilisé majoritairement des guides CAD/CAM, et en quantité moindre des guides réalisés en laboratoire de manière conventionnelle [32].

- Effet de l'arcade maxillaire ou mandibulaire

Sur deux études prospectives (n = 210 implants), les résultats de la méta-analyse ne faisaient état d'aucune différence significative de précision ($P > 0,05$) entre les arcades mandibulaires et maxillaires, pour les données angulaires (différence moyenne DM : -0,02), coronales (DM : 0,10) et apicales (DM : 0,13) [32–34].

- Effet de l'espace édenté (BES vs DES)

Trois études (deux études prospectives et une rétrospective), ont relevé sur un total de 305 implants :

- Des différences statistiquement significatives ($P < 0,001$) dans la déviation coronaire moyenne entre le BES et le DES (DM : -0,21) ; avec une précision moins importante dans le groupe DES.
- Aucune signification statistique ($P > 0,05$) dans la déviation angulaire (DM : -0,42) et apicale (DM : -0,43) [32,34–36].

- Effet de la méthode de fabrication du guide chirurgical (CAD/CAM vs conventionnel)

Deux études (n = 22 implants) ont été retenues pour évaluer la précision de la pose d'implant en fonction de la méthode de fabrication du guide chirurgical :

- Une différence significative ($P < 0,001$) a été observée dans la déviation angulaire moyenne (DM : 1,45) ; avec une précision moins importante pour le groupe avec fabrication conventionnelle.
- Pas de différence significative ($P > 0,05$) dans les déviations coronales (DM : 0,08) et apicales (DM : 0,19) [31,32,37].

- Effet du protocole de chirurgie guidée (forage pilote vs entièrement guidée)

Deux études ECR (essais contrôlés randomisés) avec 146 implants au total posés, ont mis en avant des différences significatives ($P < 0,001$) pour tous les paramètres de précision :

- DM déviation angulaire : 2,83.
- DM déviation coronale : 0,29.
- DM déviation apicale : 0,19 [27,32,38].

Pour ces 3 paramètres de déviation, la chirurgie entièrement guidée est plus précise que la chirurgie par forage pilote.

- **Discussion et conclusion**

Cette revue systématique a exclu les études in vitro et ex vivo pour préserver les conditions du réel : ouverture buccale, salive, saignement, résilience des muqueuses et densité osseuse [32].

A travers les articles étudiés précédemment, il s'avère que la chirurgie guidée est sensible aux erreurs cumulatives et que leur somme, de la planification jusqu'à l'intervention, impacte la précision. Le praticien doit ainsi être en mesure de remarquer et corriger ces différents paramètres d'influence possible :

- Prise des images radiographiques (CBCT).
- Données intra-orales sous format STL enregistrées par balayage optique.
- La fabrication du guide chirurgical en méthode conventionnelle ou CAD/CAM.
- L'état clinique du patient : type d'arcade, type d'espace édenté, localisation de l'édentement (incisif, prémolaire, molaire) [21,32].

Ainsi, cette étude a conclu que le type d'espace édenté, la méthode de fabrication du guide et le protocole de chirurgie guidée pouvait impacter la précision. Celle-ci est améliorée dans le BES par rapport au DES, avec un guide chirurgical CAD/CAM, et avec un protocole de chirurgie entièrement guidé.

3.1.6.2 Précision de la chirurgie guidée selon le type de support

Les guides chirurgicaux peuvent être supportés par 3 types de tissus : les dents, les muqueuses et les os. La précision de ces guides, selon le type de tissu de soutien, a été évaluée dans une revue systématique menée par Raico Gallardo *et al.* en 2017 [2].

- **Matériel et méthodes**

Cette revue a utilisé la méthode PICOS pour ses recherches dans la base de données Pubmed et le registre Cochrane :

- P : Patients partiellement et totalement édentés ayant reçu des implants par chirurgie guidée par ordinateur.
- I : Implants posés avec des guides à support dentaire.
- C : Implants posés avec des guides à support osseux ou muqueux.
- O : Déviation angulaire, coronale et à l'apex.
- S : Essais cliniques randomisés (ECR) et études de cohortes [2].

- Mesure des résultats [2] :

- Déviation angulaire (en °).
- Déviation globale coronaire (en mm).
- Déviation globale apicale (en mm).

- Trois groupes créés pour l'analyse statistique [2] :

- Os contre muqueuse.
- Os contre dents.
- Muqueuse contre dents.

- **Résultats [2,35,39–42] :**

Huit articles ont été inclus dans l'analyse qualitative mais seulement 4 sélectionnés pour la méta-analyse :

- Arisan 2010a et Arisan 2010b.
- Ersoy 2008.
- Cassetta 2012.
- Ozan 2009.

- Méta-analyse globale pour la déviation angulaire (en degrés) :

- Os – Muqueuse : Réduction significative de la déviation dans les guides à support muqueux (DM : 1,08°).
- Os – Dents : Réduction significative de la déviation dans les guides à support dentaire (DM : -1,41°).
- Muqueuse – Dents : Pas de différence significative (DM : -0,42°).

- Méta-analyse globale pour la déviation globale coronaire (en mm) :

- Os – Muqueuse : Précision plus élevée pour les guides à support muqueux (DM : 0,48 mm).
- Os – Dents : Précision plus élevée pour les guides à support dentaire (DM : -0,37 mm). Lorsque les études rétrospectives ont été analysées séparément, aucune différence significative n'a été observée (DM : -0,14 mm).
- Muqueuse – Dents : Pas de différence significative (DM : 0,09 mm).

- Méta-analyse globale pour la déviation apicale (en mm) :

- Os – Dents : Précision plus élevée pour les guides à support dentaire (DM : -0,50 mm). Pas de différences significatives pour les études rétrospectives.
- Os – Muqueuse : Précision plus élevée pour les guides à support muqueux (DM : 0,48 mm).
- Muqueuse – Dents : Pas de différence significative (DM : 0,01 mm).

- **Discussion et conclusion**

Les guides à support osseux offrent une précision inférieure à celle des guides supportés par les dents ou la muqueuse [2].

→ Le positionnement du guide à support osseux est plus difficile à cause de l'interférence avec le lambeau réfléchi, souvent de plus grande envergure qu'en chirurgie non guidée [2].

→ Les guides à support osseux sont cependant indiqués lors de résorptions osseuses sévères afin d'avoir une meilleure visualisation du site chirurgical et de la profondeur de l'implant [2].

Pas de différence significative de précision entre les guides à support dentaire et muqueux dans cette méta-analyse [2].

→ Une chirurgie flapless exige une expérience accrue de l'opérateur pour l'analyse des tissus environnants. Un minimum de 4,5 à 5 mm de hauteur de tissu kératinisé et une largeur d'os alvéolaire de 4 à 4,5 mm sont nécessaires [2,22,26].

→ La résilience de la muqueuse qui soutient le guide ainsi que son épaisseur peuvent interférer avec sa mise en place, notamment avec le gonflement dû à l'anesthésie locale [2,12,15].

→ L'utilisation de broches de fixation favoriserait la réduction de la déviation finale de l'implant en augmentant sa stabilité, mais empêcherait le contrôle régulier du site opératoire par le chirurgien [2,11].

Les résultats apportés par cette revue prouveraient qu'il existe une corrélation entre le support du guide et la précision de la chirurgie.

L'utilisation d'un guide par un praticien expérimenté serait donc un premier choix pour améliorer la précision, tout en étant conscient que cette technique est sensible aux erreurs cumulatives [2].

3.2 Précision en chirurgie naviguée

La chirurgie naviguée ou dynamique (dCAIS) connaît un essor important grâce aux nouvelles technologies, mais qu'en est-il de sa précision comparée à la chirurgie statique (sCAIS) et au placement à main levée ?

Cette comparaison sera faite à travers une revue systématique et méta-analyse menée par Jorba-Garcia *et al.* [43].

3.2.1 Matériel et méthodes

3.2.1.1 Sélection des études

Pour la sélection des études, le modèle PICO a été suivi :

- Population : patients ou modèles artificiels ayant eu une chirurgie à l'aide de dCAIS.
- Intervention : pose d'implant à l'aide de dCAIS.
- Comparaison : pose d'implant à l'aide de sCAIS et/ou à main levée.
- Résultat : mesure de la précision de la pose de l'implant avec l'écart angulaire entre les axes centraux des implants planifiés et posés.
- Études : essais contrôlés randomisés ou non, études de cohortes rétrospectives et prospectives, études cas-témoins, séries comportant plus de 10 patients et études « in vitro » [43].

3.2.1.2 Variables analysées

- Entrée latérale (2D) : écart entre position planifiée et finale au col de l'implant, sans déviation de profondeur.
- Entrée globale (3D) : écart entre position planifiée et finale du col de l'implant dans les 3 dimensions.
- Profondeur d'entrée : distance verticale entre position planifiée et finale au col de l'implant.
- Apex latéral (2D) : écart entre position planifiée et finale à l'apex de l'implant, sans déviation de profondeur.

- Apex global (3D) : écart entre position planifiée et finale de l'apex de l'implant dans les 3 dimensions.
- Profondeur de l'apex : distance verticale entre position planifiée et finale à l'apex de l'implant.
- Angulation : écart angulaire entre les axes centraux de la position planifiée et finale de l'implant [43].

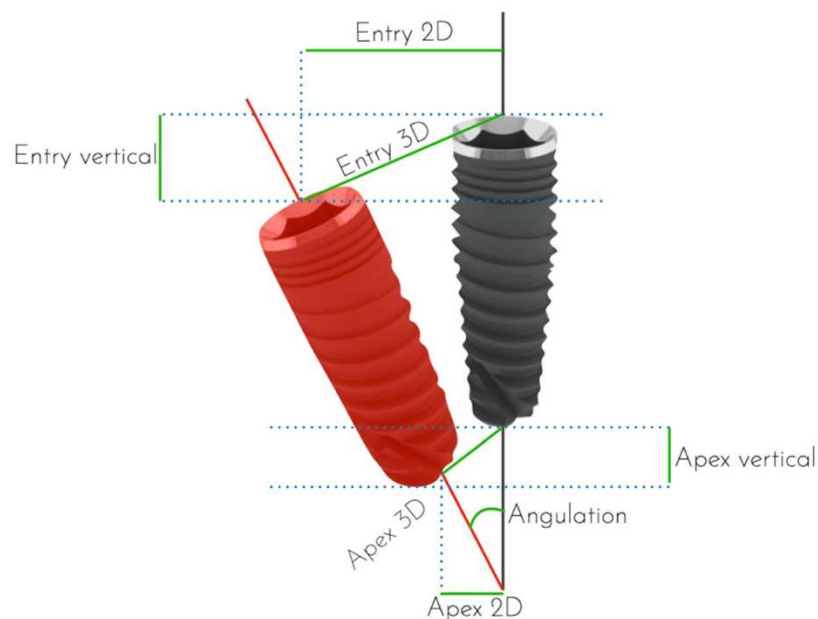


Figure 33 : Résultat des écarts [43].

3.2.2 Résultats

Vingt-quatre articles ont été inclus dans l'analyse qualitative et quantitative dont 10 étaient des études cliniques sur patients, et 14 des études précliniques « in vitro ». Au total, 9 systèmes de navigation guidée ont été évalués à travers ces études [43].

- Écarts angulaires globaux moyens :
 - Études cliniques : 3,68°.
 - « In vitro » : 2,01°.
- Écarts d'entrée global (3D) :
 - Études cliniques : 1,03 mm.
 - « In vitro » : 0,46 mm [43].

Tableau 10 : Écart global moyen regroupés par type d'étude [43].

	Angulation (°)	Entrée latérale (2D)	Entrée globale (3D)	Apex latéral (2D)	Apex global (3D)	Profondeur de l'apex	Profondeur d'entrée
« In vitro »	2,01	0,8	0,46	0,97	0,81	0,61	0,76
Clinical	3,68	0,69	1,03	0,9	1,34	0,73	0,50
Overall	2,84	0,74	0,75	0,96	1,09	0,66	0,61

→ La déviation angulaire a permis de comparer les systèmes dCAIS, sCAIS et la pose à main levée, car c'est la seule variable ayant été rapportée dans toutes les études.

→ La méta-analyse, avec inclusion de 10 articles rapportant les données d'un groupe témoin, comparent le système dCAIS. Elle compare le système dCAIS avec la pose à main levée et note une différence significative en faveur du dCAIS : DM (différence moyenne) : - 4,33°.

→ Une différence significative observée entre dCAIS et sCAIS : DM : - 0,86°.

→ Différences significatives observées uniquement dans les études « in vitro » [43].

3.2.3 Discussion et conclusion

Cette revue montre que les systèmes de navigation dynamique permettent des déviations angulaires cliniquement faibles (moyenne inférieure à 4°); et offrent avec les systèmes sCAIS une pose implantaire de précision [43].

A l'instar de la chirurgie statique, des variables influent sur la précision finale :

- Ajustement incorrect des repères radiologiques.
- Mouvements du patient lors du CBCT
- Mauvaise qualité/résolution du CBCT.
- Problèmes lors de l'enregistrement des données.

Des complications peropératoires peuvent être liées au système dynamique comme :

- Mouvement des marqueurs optiques reliés à la mâchoire ou au contre-angle.
- Mauvais calibrage de la pointe des forets et leur manipulation imprécise [43].

Dans un contexte clinique sur humains, les systèmes dCAIS et sCAIS fournissent des résultats similaires en termes de précision. Ainsi, le système sCAIS serait à privilégier en raison du coût réduit de l'équipement et du nombre de données scientifiques disponibles [43].

4. Discussion

Le flux de travail de la chirurgie assistée est riche d'étapes et de paramètres, pouvant conduire à des résultats optimaux et satisfaisants si les protocoles sont bien respectés.

La chirurgie assistée est une aide à la pose précise d'implants mais est-elle intégrable dans une pratique quotidienne de l'implantologie ?

La précision de la chirurgie à main levée est directement liée au praticien et à son expérience personnelle. Si la planification implantaire est correctement réalisée (analyse du site opératoire, guide radiographique), la pose du ou des implants peut être précise dans une majorité de cas, et obtenir des résultats esthétiques et fonctionnels optimaux.

Pour des poses d'implants à main levée, Guentsch *et al.* ont montré une déviation de $3,58^\circ (\pm 2,01^\circ)$ en moyenne [20]. Lou *et al.* ont quant à eux montré une déviation angulaire moyenne de $6,61^\circ (\pm 1,09^\circ)$ [25].

Ces données, ne prenant en compte que la déviation angulaire, restent acceptables pour des chirurgies sur édentement encastré, unitaire, ou quand l'axe d'émergence peut être légèrement corrigé par la prothèse (angulation du pilier implantaire). Elles le sont également si une marge de sécurité est correcte à proximité d'un autre implant ou d'une dent.

Cependant, la chirurgie à main levée présente ses limites en termes de précision. En effet, des difficultés surviennent d'une part lorsque des régions ou éléments anatomiques sont à proximité, et d'autre part quand l'espace mésio-distal ou vestibulo-buccal est très réduit [26].

L'utilisation des guides chirurgicaux statiques est alors une option thérapeutique à disposition du chirurgien. Les études réalisées par Lou *et al.* [25], Chen *et al.* [26], Younes F *et al.* [27], et Gargallo-Albiol *et al.* [29], montrent toutes un **gain de précision de la pose implantaire avec l'utilisation de guides chirurgicaux par rapport à la chirurgie à main levée**. Par ailleurs, une précision accrue est observée lorsque les guides sont conçus pour une chirurgie entièrement guidée avec pose d'implant [28,29].

Le type de support sur lequel repose le guide a également une influence non négligeable. Raico Gallardo *et al.* ont montré que **les guides à support osseux présentaient une précision inférieure aux guides à support dentaire et muqueux**. Bien que leurs indications soient parfois différentes, l'utilisation d'un guide à support muqueux avec la technique flapless est préférable à un guide à support osseux, sauf s'il y a nécessité de soulever un lambeau (ROG par exemple) [2,22,26].

Ainsi, ces guides offrent une précision supérieure à une pose à main levée, mais leur utilisation systématique dans une pratique quotidienne pourrait être trop fastidieuse. Le flux de travail nécessaire à la réalisation des guides est très important et repose sur des étapes de laboratoire, augmentant le coût et le temps. Les guides seraient donc à utiliser pour des chirurgies de réhabilitation complexes ou lorsque la marge d'erreur liée à l'imprécision est très limitée.

La chirurgie naviguée ou dynamique offre également une précision supérieure à la chirurgie à main levée, selon l'étude menée par Jorba-Garcia *et al.* [43]. Cependant, la chirurgie dynamique nécessite de nombreux repères intra-oraux comme des dents résiduelles, ou des vis chez l'édenté complet [7]. L'utilisation de guides à support muqueux chez l'édenté complet, comme les guides à étages, serait plus indiquée que l'utilisation de la chirurgie dynamique.

La difficulté de la mise en œuvre, son application parfois limitée et son coût élevé ne la rendent pas aussi intéressante que la chirurgie statique. Mais elle pourrait permettre aux jeunes praticiens de se former sur l'axe à adopter pour l'ostéotomie et la pose de l'implant.

En somme, les méthodes de chirurgie assistées ou le type de guide peut répondre à certaines indications possibles :

Tableau 11 : Indications possibles des chirurgies selon la méthode de guidage.

Indications possibles	
Chirurgie à main levée	- Édentement unitaire (encastré ou distal). - Édentement plural large (dans le sens mésio-distal et vestibulo-lingual). - Ouverture buccale limitée.
Chirurgie guidée statique	- Édentement complet. - Espace mésio-distal et vestibulo-lingual réduit. - Extraction implantation immédiate. - Technique flapless.
Chirurgie naviguée	- Édentement encastré ou distal avec repères intra-buccaux.

Tableau 12 : Indications possibles des guides chirurgicaux statiques selon le type de support anatomique.

Indications possibles	
Guide à support dentaire	- Édentement encastré ou distal court. - Extraction implantation immédiate. - Technique flapless possible.
Guide à support muqueux	- Édentement encastré ou distal de longue étendue. - Réhabilitation d'édentement total (all on 4 ou 6). - Technique flapless.
Guide à support osseux	- Édentement complet avec nécessité de visualisation du site opératoire. - Chirurgie avec résection osseuse. - Chirurgie avec régénération osseuse guidée (ROG).

Conclusion

Cette thèse a permis d'explorer la précision des guides chirurgicaux implantaires, un domaine en évolution croissante en implantologie orale.

La précision en implantologie a longtemps été basée sur l'expérience personnelle du chirurgien, jusqu'à l'apparition des guides radiologiques et des guides conventionnels conçus au laboratoire.

Le développement des nouvelles technologies amène le praticien à reconsidérer sa pratique de l'implantologie pour les intégrer à ses plans de traitements.

Les résultats présentés dans ce travail montrent que la chirurgie assistée permet une précision importante dans la pose d'implants, tout particulièrement si celle-ci est entièrement guidée en chirurgie statique. Les progrès de l'imagerie 3D et des logiciels permettent désormais aux chirurgies d'être plus prédictibles et fiables.

Incontestablement, l'expérience de l'opérateur est déterminante dans la gestion des outils technologiques, la bonne fixation des guides et la maîtrise des risques anatomiques et médicaux. La chirurgie assistée est un outil précieux pour améliorer la prise en charge du patient en implantologie.

En revanche, les avantages de ces chirurgies sont à pondérer avec leur coût financier et matériel, qui pourrait en limiter l'accès pour certains praticiens et patients.

D'autres travaux pourraient venir enrichir cette thèse en comparant d'une part les résultats esthétiques et prothétiques, selon les différentes méthodes de chirurgie, et d'autre part en évaluant la rentabilité et l'impact sur la qualité de vie des patients.

Références bibliographiques

1. D'haese J, Ackhurst J, Wismeijer D, De Bruyn H, Tahmaseb A. Current state of the art of computer-guided implant surgery. *Periodontology* 2000. 2017;73(1):121-33.
2. Raico Gallardo YN, da Silva-Olivio IRT, Mukai E, Morimoto S, Sesma N, Cordaro L. Accuracy comparison of guided surgery for dental implants according to the tissue of support: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*. 2017;28(5):602-12.
3. Al Yafi F, Camenisch B, Al-Sabbagh M. Is digital guided implant surgery accurate and reliable? *Dental Clinics of North America*. 2019;63(3):381-97.
4. Kalaivani G, Balaji VR, Manikandan D, Rohini G. Expectation and reality of guided implant surgery protocol using computer-assisted static and dynamic navigation system at present scenario: Evidence-based literature review. *Journal of Indian Society of Periodontology*. 2020;24(5):398-408.
5. Vercruyssen M, Fortin T, Widmann G, Jacobs R, Quirynen M. Different techniques of static/dynamic guided implant surgery: modalities and indications. *Periodontology* 2000. 2014;66(1):214-27.
6. M. Davarpanah, S. Szmukler-Moncler, K. Davarpanah, P. Rajzbaum. *Implantologie assistée par ordinateur*. Rueil-Malmaison: Édition CdP; 2010. (Collection JPIO).
7. Panchal N, Mahmood L, Retana A, Emery R. Dynamic navigation for dental implant surgery. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics North America*. 2019;31(4):539-47.
8. Battista E, Gasparro R, Cacciola M, Sammartino G, Marenzi G. Dynamic navigation system for immediate implant placement in the maxillary aesthetic region. *Applied Sciences*. 2022;12(11):5510.
9. Hamilton A, Singh A, Friedland B, Jamjoom FZ, Griseto N, Gallucci GO. The impact of cone beam computer tomography field of view on the precision of digital intra-oral scan registration for static computer-assisted implant surgery: A CBCT analysis. *Clinical Oral Implants Research*. 2022;33(12):1273-81.
10. Flügge T, Derksen W, Te Poel J, Hassan B, Nelson K, Wismeijer D. Registration of cone beam computed tomography data and intraoral surface scans - A prerequisite for guided implant surgery with CAD/CAM drilling guides. *Clinical Oral Implants Research*. 2017;28(9):1113-8.
11. Chackartchi T, Romanos GE, Parkanyi L, Schwarz F, Sculean A. Reducing errors in guided implant surgery to optimize treatment outcomes. *Periodontol* 2000. 2022;88(1):64-72.

12. Tatakis DN, Chien HH, Parashis AO. Guided implant surgery risks and their prevention. *Periodontology 2000*. 2019;81(1):194-208.
13. Matta RE, Bergauer B, Adler W, Wichmann M, Nickenig HJ. The impact of the fabrication method on the three-dimensional accuracy of an implant surgery template. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery: Official Publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery*. 2017;45(6):804-8.
14. Kühl S, Payer M, Zitzmann NU, Lambrecht JT, Filippi A. Technical accuracy of printed surgical templates for guided implant surgery with the coDiagnostiXTM software. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2015;17 Suppl 1:e177-182.
15. Marlière DAA, Demétrio MS, Picinini LS, De Oliveira RG, Chaves Netto HDDM. Accuracy of computer-guided surgery for dental implant placement in fully edentulous patients: A systematic review. *European Journal of Dentistry*. 2018;12(1):153-60.
16. Laederach V, Mukaddam K, Payer M, Filippi A, Kühl S. Deviations of different systems for guided implant surgery. *Clinical Oral Implants Research*. 2017;28(9):1147-51.
17. Liu YF, Wu JL, Zhang JX, Peng W, Liao WQ. Numerical and experimental analyses on the temperature distribution in the dental implant preparation area when using a surgical guide. *Journal of Prosthodontics: Official Journal of the American College of Prosthodontists*. 2018;27(1):42-51.
18. Cassetta M, Bellardini M. How much does experience in guided implant surgery play a role in accuracy? A randomized controlled pilot study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2017;46(7):922-30.
19. Manfredini M, Poli PP, Maiorana C, Salina FE, Tandurella M, Beretta M. Computer aided full arch restoration by means of one-piece implants and stackable guide: A technical note. *Dentistry Journal*. 2023;11(11):256.
20. Guentsch A, An H, Dentino AR. Precision and trueness of computer-assisted implant placement using static surgical guides with open and closed sleeves: An in vitro analysis. *Clinical Oral Implants Research*. 2022;33(4):441-50.
21. Tallarico M, Martinolli M, Kim YJ, Cocchi F, Meloni SM, Alushi A, et al. Accuracy of computer-assisted template-based implant placement using two different surgical templates designed with or without metallic sleeves: a randomized controlled trial. *Dentistry Journal*. 2019;7(2):41.
22. Lavery DP, Buglass J, Patel A. Flapless dental implant surgery and use of cone beam computer tomography guided surgery. *British Dental Journal*. 2018;224(8):601-11.

23. Tallarico M, Czajkowska M, Cicciù M, Giardina F, Minciarelli A, Zadrozny Ł, et al. Accuracy of surgical templates with and without metallic sleeves in case of partial arch restorations: A systematic review. *Journal of Dentistry*. 2021;115:103852.
24. Cassetta M, Di Mambro A, Giansanti M, Stefanelli LV, Cavallini C. The intrinsic error of a stereolithographic surgical template in implant guided surgery. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2013;42(2):264-75.
25. Lou F, Rao P, Zhang M, Luo S, Lu S, Xiao J. Accuracy evaluation of partially guided and fully guided templates applied to implant surgery of anterior teeth: A randomized controlled trial. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2021;23(1):117-30.
26. Chen Z, Li J, Sinjab K, Mendonca G, Yu H, Wang HL. Accuracy of flapless immediate implant placement in anterior maxilla using computer-assisted versus freehand surgery: A cadaver study. *Clinical Oral Implants Research*. 2018;29(12):1186-94.
27. Younes F, Cosyn J, De Bruyckere T, Cleymaet R, Bouckaert E, Eghbali A. A randomized controlled study on the accuracy of free-handed, pilot-drill guided and fully guided implant surgery in partially edentulous patients. *Journal of Clinical Periodontology*. 2018;45(6):721-32.
28. Ngamprasertkit C, Aunmeungthong W, Khongkhunthian P. The implant position accuracy between using only surgical drill guide and surgical drill guide with implant guide in fully digital workflow: a randomized clinical trial. *Oral and Maxillofacial Surgery*. 2022;26(2):229-37.
29. Gargallo-Albiol J, Barootchi S, Marqués-Guasch J, Wang HL. Fully Guided Versus Half-Guided and Freehand Implant Placement: Systematic Review and Meta-analysis. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2020;35(6):1159-69.
30. Vercruyssen M, Coucke W, Naert I, Jacobs R, Teughels W, Quirynen M. Depth and lateral deviations in guided implant surgery: an RCT comparing guided surgery with mental navigation or the use of a pilot-drill template. *Clinical Oral Implants Research*. 2015;26(11):1315-20.
31. Farley NE, Kennedy K, McGlumphy EA, Clelland NL. Split-mouth comparison of the accuracy of computer-generated and conventional surgical guides. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2013;28(2):563-72.
32. Putra RH, Yoda N, Astuti ER, Sasaki K. The accuracy of implant placement with computer-guided surgery in partially edentulous patients and possible influencing factors: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Prosthodontic Research*. 2022;66(1):29-39.
33. Cristache CM, Gurbanescu S. Accuracy Evaluation of a Stereolithographic Surgical Template for Dental Implant Insertion Using 3D Superimposition Protocol. *International Journal of Dentistry*. 2017;2017:4292081.

34. Derksen W, Wismeijer D, Flügge T, Hassan B, Tahmaseb A. The accuracy of computer-guided implant surgery with tooth-supported, digitally designed drill guides based on CBCT and intraoral scanning. A prospective cohort study. *Clinical Oral Implants Research*. 2019;30(10):1005-15.
35. 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. *Journal of Periodontology*. 2008;79(8):1339-45.
36. Schnutenhaus S, Edelmann C, Rudolph H, Dreyhaupt J, Luthardt RG. 3D accuracy of implant positions in template-guided implant placement as a function of the remaining teeth and the surgical procedure: a retrospective study. *Clinical Oral Investigations*. 2018;22(6):2363-72.
37. Magrin GL, Rafael SNF, Passoni BB, Magini RS, Benfatti CAM, Gruber R, et al. Clinical and tomographic comparison of dental implants placed by guided virtual surgery versus conventional technique: A split-mouth randomized clinical trial. *Journal of Clinical Periodontology*. 2020;47(1):120-8.
38. Varga E, Antal M, Major L, Kiscsatári R, Braunitzer G, Piffkó J. Guidance means accuracy: A randomized clinical trial on freehand versus guided dental implantation. *Clinical Oral Implants Research*. 2020;31(5):417-30.
39. Arisan V, Karabuda CZ, Ozdemir T. Implant surgery using bone- and mucosa-supported stereolithographic guides in totally edentulous jaws: surgical and post-operative outcomes of computer-aided vs. standard techniques. *Clinical Oral Implants Research*. 2010;21(9):980-8.
40. Arisan V, Karabuda ZC, Ozdemir T. Accuracy of two stereolithographic guide systems for computer-aided implant placement: a computed tomography-based clinical comparative study. *Journal of Periodontology*. 2010;81(1):43-51.
41. Cassetta M, Stefanelli LV, Giansanti M, Calasso S. Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical template. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2012;27(3):655-63.
42. Ozan O, Turkyilmaz I, Ersoy AE, McGlumphy EA, Rosenstiel SF. Clinical accuracy of 3 different types of computed tomography-derived stereolithographic surgical guides in implant placement. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2009;67(2):394-401.
43. Jorba-García A, González-Barnadas A, Camps-Font O, Figueiredo R, Valmaseda-Castellón E. Accuracy assessment of dynamic computer-aided implant placement: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Investigations*. 2021;25(5):2479-94.

Webographie

- 1 : <https://x-navtech.com/> (consulté le 2 Novembre 2023)
- 2 : <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/implantologie/chirurgie-assistee-par-ordinateur-la-navigation-dynamique-systeme-x-guide/> (consulté le 18 Août 2023)
- 3 : <https://www.lefildentaire.com/articles/guide-a-etage-on/> (consulté le 22 janvier 2024)
- 4 : <https://www.erm-fabtest.com/blog/etude-clinique-de-chirurgie-assistee-en-dentisterie-par-dws-n39> (consulté le 12 mars 2024)

Annexes

Annexe 1 : Table des figures

Figure 1 : Conception du guide : intégration des différentes hauteurs de douille de guidage [3].	17
Figure 2 : Guide chirurgical imprimé par stéréolithographie (Iconographie personnelle CHU Lille).	18
Figure 3 : Guide chirurgical à support dentaire pour extraction et implantation immédiate par all on four. A noter les hublots au niveau des dents pour vérifier la position stricte du guide (Iconographie personnelle CHU Lille).	19
Figure 4 : Système X-Guide de chirurgie implantaire dynamique, avec caméra stéréo et instruments chirurgicaux de suivi	21
Figure 5 : X-Clip : le matériau thermo-formable permet de cliper le dispositif de façon stable, précise et reproductible	22
Figure 6 : Modèle de démonstration du logiciel coDiagnostiX (version d'essai disponible en ligne).	24
Figure 7 : Tracker monté sur le contre-angle qui présente le foret au système à l'aide de la Go-Plate [8].	25
Figure 8 : Placement de l'implant à l'aide du système de navigation [8].	27
Figure 9 : Distribution des points de référence entre le CBCT et le scan intra-oral. La distribution des points dans le CBCT grand Fov est plus grande que dans les petits Fov [9].	30
Figure 10 : Enregistrements répétés sur le même ensemble de données intra-orales et CBCT [9].	30
Figure 11 : a : segmentation par défaut - b : segmentation manuelle. Les zones jaunes et vertes sont la superposition du scan de surface intra-oral après enregistrement [10].	32
Figure 12 : Cas illustrant un alignement et un recalage incorrect entre le modèle virtuel et le modèle CBCT. L'implant en position 35 est en linguo-position par rapport à la planification [12].	33
Figure 13 : Types de guides en chirurgie implantaire guidée : A : Support dentaire, B : support muqueux avec 3 vis de fixation, C : support osseux avec 3 vis de fixation, D : implants pris en charge pour soutenir le guide [12].	35
Figure 14 : Irrigation abondante et continue avec solution saline : la longueur du foret, la clé et le tube représente des barrières physiques au refroidissement (Iconographie personnelle CHU Lille).	38
Figure 15 : Superposition des images du fichier STL de l'empreinte et du wax-up sur l'image de tomodensitométrie [11].	41
Figure 16 : Guide avec vis de stabilisation pour arcade totalement édentée [11].	42
Figure 17 : Implants provisoires avant CBCT puis support du guide chirurgical [11].	43
Figure 18 : A : Dents résiduelles laissées en place. B : Placement des implants avec guide stabilisé par les dents et l'os. C : Placement des implants restants avec guide stabilisé par les premiers implants, et encore par les dents dans ce cas-ci (Iconographie personnelle CHU Lille).	44
Figure 19 : Bridge provisoire mis en place après réadaptation (Iconographie personnelle CHU Lille).	45
Figure 20 : Guide à étages prenant appui sur les organes dentaires restants.	46

Figure 21 : Projet de guide à étages : (a) Guide de base (jaune et bleu foncé) avec guide de positionnement (vert et jaune) ; (b) Guide de base et guide de placement d'implants (rose fuchsia) ; (c) : Guide de base et prothèse provisoire (bleu cyan) [19].	46
Figure 22 : Moyen de liaison mécanique et magnétique.....	47
Figure 23 : Flux de travail chirurgical chez un patient édenté : (a) Guide de base connecté au guide de positionnement ; (b) Guide de base en position ; (c) Lambeau muco-périosté ; (d) Pose des implants ; (e) Prothèse provisoire reliée au guide de base (f) Prothèse provisoire en mise en charge immédiate [19].	48
Figure 24 : (A) Douille fermée avec poignée de clé insérée et foret en place. (B) Douille ouverte avec fenêtre latérale et butée verticale [21].	50
Figure 25 : Paramètres évalués lors de la comparaison entre la position planifiée de l'implant et la position réelle [21].	51
Figure 26 : Déviation angulaire pour les chirurgies guidées avec douille ouverte et fermée, partiellement guidée et à main levée [21].	52
Figure 27 : Différences entre les gabarits chirurgicaux sans (en haut) et avec (en bas) douilles métalliques pour un implant de 7mm [22].	54
Figure 28 : Différentes phases de la chirurgie Flapless : (A) Mucotomie ; (B, C) Préparation du site implantaire avec clés de réduction ; (D) Vue occlusale après ostéotomie.	59
Figure 29 : Mesure des écarts entre implant planifié et posé [26].	60
Figure 30 : Illustration de la tendance pour un implant placé immédiatement d'être dévié en fonction de l'anatomie de l'alvéole [26].	63
Figure 31 : (a) : Guide de forage chirurgical et insertion d'implant à main levée. (b) : Guide de forage chirurgical et guide d'insertion d'implant [28].	65
Figure 32 : Paramètres d'écart entre la position prévue de l'implant (bleu) et la position de l'implant posé (jaune) [28].	65
Figure 33 : Résultat des écarts [43].	79

Annexe 2 : Table des tableaux

Tableau 1 : Analyse de la précision finale de l'implant : essai contrôlé randomisé Tallarico et al. [22].	54
Tableau 2 : Différences de précision moyenne entre les deux groupes : Revue systématique Tallarico et al. [24].	55
Tableau 3 : Moyenne des résultats des déviations entre les 3 groupes [26].	57
Tableau 4 : Ecart globaux (coronaire et apical), angulaire et de profondeur entre implants planifiés et posés.	61
Tableau 5 : Ecart de déviation latérale, bucco-linguale et mésio-distale entre implants planifiés et posés.	61
Tableau 6 : Nombre de perforations entre chaque groupe [26].	62
Tableau 7 : Ecart totaux par rapport à la position réelle de l'implant [28].	66
Tableau 8 : Présentation générale des essais inclus dans la méta-analyse [29].	69
Tableau 9 : Gains de précision entre les chirurgies : méta-analyse Gargallo-Albiol et al. [29].	70
Tableau 10 : Écart globaux moyens regroupés par type d'étude [43].	80
Tableau 11 : Indications possibles des chirurgies selon la méthode de guidage.	84
Tableau 12 : Indications possibles des guides chirurgicaux statiques selon le type de support anatomique.	84

Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année 2024 –

Précision de la chirurgie guidée et de la chirurgie naviguée en implantologie /
Alexandre BOSQUET. - p. 94 : ill. 33 ; réf. 43

Domaines : Implantologie, Chirurgie Orale

Mots clés Libres : Implantologie Orale, Implants dentaires, Chirurgie assistée par ordinateur, Chirurgie entièrement et partiellement guidée, Chirurgie naviguée, Guides chirurgicaux, Guides à étages

Résumé de la thèse en français

La pose d'implants dentaires requiert une grande précision pour optimiser la réussite de l'intervention et sa longévité. Avec l'essor des nouvelles technologies et de l'aide par ordinateur, deux techniques de chirurgies assistées ont été développées pour augmenter la précision : la chirurgie guidée et la chirurgie naviguée.

La chirurgie guidée utilise des guides chirurgicaux personnalisés basés sur une étude radiographique préopératoire du patient.

La chirurgie naviguée utilise quant-à-elle un système de navigation en temps réel pour guider la pose de l'implant.

Ce travail propose d'évaluer les paramètres pouvant influencer sur la précision en chirurgie assistée ; puis de comparer la précision des différents types de chirurgies assistées entre elles et à la pose d'implants à main levée.

Ces techniques améliorent nettement la précision de la pose d'implants par rapport à une chirurgie conventionnelle, mais doivent être adaptées à la situation clinique

JURY :

Président : **Monsieur le Professeur Philippe BOITELLE**

Assesseurs : **Monsieur le Docteur François BOSCHIN**

Monsieur le Docteur Corentin DENIS

Monsieur le Docteur Maxime LOOCK