

**UNIVERSITE DE LILLE**  
**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

[Année de soutenance : 2023]

N° :

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

Présentée et soutenue publiquement le

par Axel SACEPE

Né le 12 Juin 1997 à Rueil Malmaison – France

**Le système Navident® et la chirurgie naviguée en  
implantologie orale**

**JURY**

Président :

Monsieur le Professeur Thomas COLARD

Assesseurs :

Madame le Docteur Mathilde SAVIGNAT

Monsieur le Docteur François BOSCHIN

Monsieur le Docteur Jordan QUERTAINMONT

Président de l'université

Directrice Générale des services de l'université

Doyen UFR3S

Directrice des Services d'Appui UFR3S

Doyen de la faculté d'Odontologie - UFR3S.

Responsable des Services

Responsable de la Scolarité

Pr. R. BORDET

M-D SAVINA

Pr. D. LACROIX

G. PIERSON

Pr. C. DELFOSSE

M. DROPSIT

G. DUPONT

### **PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'U.F.R.**

#### **PROFESSEURS DES UNIVERSITES :**

K. AGOSSA

Parodontologie

P. BOITELLE

Prothèses

T. COLARD

Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux

**C. DELFOSSE**

**Doyen de la faculté d'odontologie – UFR3S**

Odontologie pédiatrique

E. DEVEAUX

**Responsable du département de**

**Dentisterie Restauratrice Endodontie**

## MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES :

T. BECAVIN	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. BEDEZ	Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale
A. BLAIZOT	Prévention, Épidémiologie, Économie de la santé, Odontologie légale
<b>F. BOSCHIN</b>	Responsable du Département de <b>Parodontologie</b>
<b>C. CATTEAU</b>	Responsable du Département de <b>Prévention, Épidémiologie, Économie de la Santé, Odontologie Légale</b>
X. COUTEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
T. DELCAMBRE	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
<b>L.NAWROCKI</b>	Responsable du Département de <b>Chirurgie Orale</b> Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin – CHRU Lille
<b>C.OLEJNIK</b>	Responsable du Département de <b>Biologie Orale</b>
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.

**Remerciements :**

**Aux membres du jury ...**

**Monsieur le Professeur Thomas COLARD**  
**Professeur des Universités – Praticien Hospitalier**  
*Section Réhabilitation Orale*  
*Département Fonction/Dysfonction, **Imagerie** et Biomatériaux*

Docteur en Chirurgie Dentaire (Université de Lille)  
Docteur du Muséum National d'Histoire Naturelle en Anthropologie Biologique (MNHN, Paris)  
Habilitation à Diriger des Recherches (Université de Lille)

Master 1 - Biologie-Santé (Université de Lille)  
Master 2 - Evolution Humaine (MNHN, Paris)  
DIU Orthopédie Dento-Cranio-Maxillo-Faciale (Sorbonne Université, Paris)

Chargé de mission Recherche

*Vous m'avez fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury et je vous en suis sincèrement reconnaissant.*

*Je vous remercie pour la grande qualité de vos enseignements. J'espère que ce travail saura retenir votre attention.*

*Veillez trouver dans cet ouvrage l'expression de mes respectueuses salutations et de mon profond respect.*

**Madame le Docteur Mathilde SAVIGNAT**

**Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier**

*Section de Réhabilitation Orale*

*Département Sciences Anatomiques*

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Odontologie de l'Université de Lille2

Master Recherche Biologie Santé - Spécialité Physiopathologie et Neurosciences

Responsable du Département des Sciences Anatomiques

Chargée de mission PASS - LAS

*Vous m'avez fait l'honneur d'accepter de siéger dans ce jury et je vous en suis  
sincèrement reconnaissant.*

*Je vous remercie pour la qualité de vos enseignements. Votre  
professionnalisme et votre rigueur m'ont beaucoup inspiré durant mon cursus et  
continuent de m'accompagner au quotidien.*

*Veillez trouver dans cet ouvrage l'expression de mes respectueuses  
salutations et de mon profond respect.*

**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

*Je vous remercie d'avoir accepté la direction de ma thèse.*

*Votre expérience et vos conseils m'ont été d'une grande aide dans sa rédaction. Votre confiance en mon travail m'a beaucoup touché. J'ai beaucoup appris grâce à vous.*

*Je vous prie de trouver dans ce travail le témoignage de mes sincères remerciements ainsi que mon profond respect.*

**Monsieur le Docteur Jordan QUERTAINMONT**  
**Chef de Clinique des Universités – Assistant Hospitalier des CSERD**  
*Section Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale*  
*Département Chirurgie Orale*

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Spécialiste qualifiée en Médecine Bucco-Dentaire

*Vous avez accepté spontanément de participer à ce jury et je vous en suis reconnaissant.*

*. Je vous prie de trouver dans ce travail le témoignage de mes sincères remerciements ainsi que mon profond respect.*

**A mes proches ...**



# Tables des matières

C. DELFOSSE Doyen de la faculté d'odontologie – UFR3S	2
<b>Introduction</b>	<b>15</b>
<b>1 Généralités sur la navigation et la robotique chirurgicale</b>	<b>16</b>
<b>1.1 Définitions</b>	<b>16</b>
1.1.1 Robotique chirurgicale	16
1.1.2 Navigation chirurgicale	16
<b>1.2 Historique de la robotique chirurgicale</b>	<b>16</b>
1.2.1 Débuts de la robotique et Chirurgie endoscopique	17
1.2.2 Télémanipulation	18
1.2.3 Développements futurs	19
<b>1.3 La chirurgie assistée par ordinateur</b>	<b>19</b>
1.3.1 Principes de la Chirurgie assistée par ordinateur	20
1.3.1.1 Planification préopératoire	20
1.3.1.2 Planification et simulation	20
1.3.1.3 Action	21
1.3.2 Classification des systèmes robotiques	22
1.3.2.1 Les systèmes passifs	22
1.3.2.1.1 La fluoronavigation	22
1.3.2.1.2 La navigation électromagnétique	23
1.3.2.1.3 La navigation optique	23
1.3.2.2 Les systèmes semi-actifs	24
1.3.2.3 Les systèmes actifs	24
<b>2 Applications de la chirurgie naviguée en implantologie orale</b>	<b>25</b>
<b>2.1 Implantologie orale</b>	<b>26</b>
<b>2.2 Piezochirurgie</b>	<b>26</b>
<b>2.3 Endodontie</b>	<b>28</b>
<b>2.4 Chirurgie orthognatique</b>	<b>29</b>
<b>3 Protocole opératoire du système Navident® au sein du CHR de Lille</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Présentation du système Navident®</b>	<b>31</b>
3.1.1 Composants principales du système Navident®	31
3.1.2 Eléments de suivi des mouvements de la mâchoire	32
3.1.3 Eléments d'enregistrements	32
3.1.3.1 Tracers	32
3.1.3.2 Navibite	33
3.1.3.3 Repères Bone Screw	34
3.1.4 Eléments de suivi de mouvements des instruments	34
3.1.5 Calibrateur	35
<b>3.2 Fonctionnement du système Navident®</b>	<b>37</b>
3.2.1 Scanner	37
3.2.2 Planification	37
3.2.3 Enregistrement	38
<b>3.3 Protocole opératoire</b>	<b>40</b>
3.2.1 Temps préopératoire	40
3.2.1.1 Examen clinique	40
3.2.1.2 Acquisition des données radiologiques	40
3.2.1.3 Planification implantaire	40
3.2.1.4 Planification informatique	41
3.2.2 Temps per-opératoire	45

3.2.3 Temps post opératoire	50
<b>4 Discussion et comparaison entre navigation, positionnement à main levée et utilisation d'un guide chirurgical</b>	<b>51</b>
<b>4.1 Positionnement à main levée/guide chirurgical</b>	<b>51</b>
4.1.1 Technique chirurgicale conventionnelle	51
4.1.2 Pose d'implant à l'aide d'un guide chirurgical	51
4.1.2.1 Guide chirurgical à appui dentaire	51
4.1.2.2 Guide chirurgical à appui muqueux (technique flapless)	52
4.1.2.3 Guide chirurgical à appui osseux	52
4.1.2.4 Guide a étages	53
<b>4.2 Avantages de la navigation chirurgicale</b>	<b>55</b>
4.2.1 Précision	55
4.2.1.1 Tableaux comparatifs	57
4.2.2 Sécurité et flexibilité de l'intervention	60
4.2.3 Efficacité opératoire	61
4.2.4 Ergonomie	61
<b>4.3 Inconvénients de la navigation chirurgicale</b>	<b>61</b>
4.3.1 Courbe d'apprentissage	61
4.3.2 Investissement initial	62
4.3.3 Interférences et complications techniques	62
<b>4.4 Dans quel contexte privilégier la navigation ?</b>	<b>63</b>
<b>Conclusion</b>	<b>64</b>
<b>Table des illustrations</b>	<b>66</b>
<b>Table des tableaux</b>	<b>68</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>69</b>

# Introduction

L'implantologie orale est une discipline se rapportant aux implants dentaires. Ces éléments biocompatibles sont introduits dans l'organisme et offrent une solution durable pour le remplacement des dents manquantes et la restauration de la fonction masticatoire chez des patients édentés ou partiellement édentés.

Le premier implant dentaire en titane a été posé dans les années 1950 par le Professeur Per Ingvar Branemark. Cependant, la pose précise des implants dans l'os alvéolaire reste un défi complexe.

Depuis les techniques n'ont cessé d'évoluer, notamment grâce aux progrès de la radiographie, de l'informatique et de la robotique. Dans cette optique, la chirurgie naviguée assistée par le système Navident® a émergé comme une avancée technologique révolutionnaire pour améliorer la précision et la prévisibilité des procédures d'implantologie orale.

L'objectif de cette thèse est de présenter ce nouvel outil thérapeutique disponible en chirurgie implantaire, d'en comprendre son principe de fonctionnement, ses caractéristiques et indications précises, afin d'avoir une vision globale d'une technologie encore méconnue.

A travers ce manuscrit, dans un premier temps, seront présentés les concepts de base de la navigation chirurgicale et de la robotique. Puis dans un second temps, les différentes applications de la chirurgie naviguée en implantologie orale seront décrites. Le troisième chapitre se concentrera sur le protocole opératoire du système Navident®. Nous détaillerons les différentes étapes de la procédure, de la planification préopératoire à la mise en œuvre en temps réel lors de la chirurgie. Enfin, pour terminer, nous procéderons à une comparaison approfondie entre la chirurgie naviguée avec le système Navident®, la chirurgie guidée traditionnelle et le positionnement à main levée des implants dentaires.

# 1 Généralités sur la navigation et la robotique chirurgicale

## 1.1 Définitions

La navigation et la robotique chirurgicale sont deux techniques assez similaires. Ce sont deux techniques assistées par ordinateur issues de la robotique médicale qui permettent d'obtenir une aide opératoire.

### 1.1.1 Robotique chirurgicale

La robotique chirurgicale utilise des robots pour assister les médecins lors de chirurgies complexes. Les robots chirurgicaux peuvent être programmés pour effectuer des tâches précises que ce soit en phase pré opératoire, per opératoire ou en post opératoire avec une précision accrue et une plus grande stabilité que ce qui peut être obtenu manuellement.

### 1.1.2 Navigation chirurgicale

La navigation chirurgicale est une technique qui utilise des images médicales pour guider les instruments chirurgicaux pendant la procédure. Cette technique peut être utilisée pour planifier la chirurgie et la guider en temps réel.

Leurs utilisations s'articulent schématiquement autour de trois objectifs : améliorer la perception du médecin, aider à la décision médicale et assister le geste chirurgical.

## 1.2 Historique de la robotique chirurgicale

La première définition du mot robot a été donnée en 1979 par la *Robots Institute of America* comme « un manipulateur multifonctionnel reprogrammable conçu pour déplacer des matériaux, des pièces, des outils ou des dispositifs spécialisés à travers divers mouvements programmés pour l'exécution de diverses tâches »

La robotique chirurgicale a été développée dans les années 1980 et 1990 dans le domaine de l'aérospatial, avec pour but de pouvoir réaliser des interventions à distance sur les astronautes. L'application de la robotique dans le domaine chirurgical doit répondre aux besoins de l'homme moderne et lui permettre d'atteindre deux objectifs : la téléprésence qui fait intervenir différentes techniques permettant à un opérateur d'avoir un impact à un endroit autre que celui où il est situé, et l'exécution de tâches répétitives et précises.

### 1.2.1 Débuts de la robotique et Chirurgie endoscopique

La toute première intervention sur l'homme a eu lieu en 1985 avec le robot PUMA 200 lors d'opérations de neurochirurgie et de biopsie cérébrales (1).

Le robot AESOP® (pour « Automated Endoscopic System for Optimal Positioning ») est l'un des premiers robots utilisés lors d'interventions chirurgicales. Apparue en 1994, il dispose d'un bras robotisé au bout duquel se trouve un endoscope et se dirige par commande vocale. Le contrôle de l'endoscope est donc assuré par la voix du chirurgien et non plus par un assistant, ce qui permet au chirurgien d'ajuster la position de l'endoscope et de lui fournir un meilleur contrôle visuel.



Fig. 1 : Automated Endoscopic System for Optimal Positioning (1).

## 1.2.2 Télémanipulation

La télémanipulation est l'une des avancées majeures dans la robotique chirurgicale. Le chirurgien, via une console de commandes, peut contrôler les opérations à distance à l'aide d'un robot disposant de bras articulés.

Afin d'améliorer la dextérité du chirurgien lors d'opérations minimalement invasives, le robot chirurgical ZEUS<sup>®</sup> voit le jour. Il est composé de trois bras articulés. Un de ses bras dispose d'une caméra miniature et les deux autres permettent la prise d'instruments chirurgicaux. Tout comme le robot AESOP<sup>®</sup>, ce robot favorise l'ergonomie puisqu'un bras armé par commande vocale remplace désormais l'assistant, mais surtout le tremblement physiologique des mains du chirurgien disparaît et permet des gestes chirurgicaux plus précis dans des zones difficiles.

Aujourd'hui le système robotique le plus répandu et le plus utilisé dans le monde est le système DA VINCI<sup>®</sup>. Il est composé de quatre bras, un bras permettant de supporter la caméra et les trois autres sont dédiés à la préhension des instruments. Ces bras sont articulés, possèdent plusieurs degrés de liberté et permettent de mimer les mains du chirurgien. Une console permet au chirurgien de disposer d'une vision binoculaire et d'une image tridimensionnelle du champ opératoire (2).

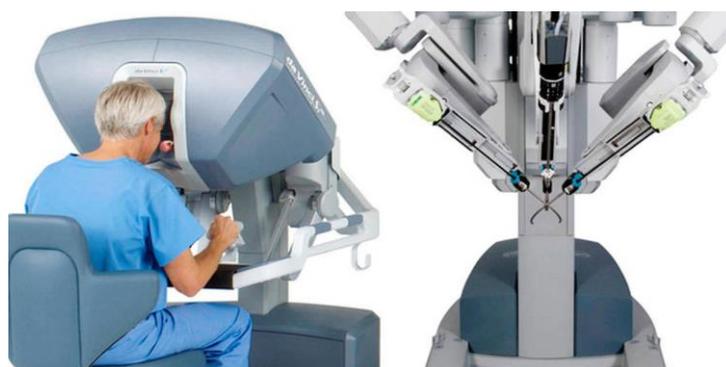


Fig. 2 : Chirurgien aux commandes du robot chirurgical DA VINCI<sup>®</sup>.

### 1.2.3 Développements futurs

Plus récemment un nouveau type de robot a fait son apparition, que l'on appelle des « mini robots chirurgicaux ». Ces robots sont plus petits, moins chers, indiqués pour des tâches spécifiques et sont fixés au patient, réduisant leur durée d'immobilisation et leur laissant une liberté de mouvement (3).

L'un des exemples est le robot MARS® (Miniature Robot for Surgical procedures) utilisé dans le cadre de kyphoplastie, de vertebroplastie et de diverses opérations du rachis.

Ainsi les progrès technologiques et l'évolution de la robotique chirurgicale permettent aujourd'hui de réaliser des interventions efficaces, précises et indolores pour le patient. Cependant le coût extrêmement élevé de ces machines minimise leur utilisation (1).

## 1.3 La chirurgie assistée par ordinateur

Le développement de l'informatique et de la radiologie, et plus particulièrement de la tomodensitométrie, a donné naissance à des logiciels de planification implantaire permettant une approche virtuelle du lieu d'implantation et une meilleure préparation vis-à-vis des obstacles et structures anatomiques (4).

Ces nombreuses innovations clés, que ce soit dans l'imagerie volumétrique, la robotique ou les logiciels de planification virtuel ont permis de développer la chirurgie assistée par ordinateur (CAO) qui permet de planifier et d'exécuter des procédures chirurgicales à l'aide du numérique.

L'objectif premier de la CAO est d'obtenir la plus grande similitude entre la planification opératoire et le résultat chirurgical final.

La CAO présente de nombreux avantages :

- Précision accrue
- Opération moins invasive
- Réduction du temps de cicatrisation, meilleure récupération par le patient.
- Visualisation en temps réel des structures anatomiques
- Possibilité d'adapter l'opération en fonction des données recueillies pendant la procédure
- Sécurité (4) (5)

### 1.3.1 Principes de la Chirurgie assistée par ordinateur

#### 1.3.1.1 Planification préopératoire

Le processus commence par l'acquisition des données de base du patient. Des images radiographiques numériques (CBCT, IRM), des résultats d'analyses et des tests médicaux sont réalisés et sont combinés avec les données générales du patient (anatomie, physiologie). Ces informations sont ensuite utilisées pour créer un modèle 3D du site de la chirurgie.

La procédure opératoire est planifiée en utilisant des logiciels de simulation et de visualisation pour évaluer les différents choix thérapeutiques.

#### 1.3.1.2 Planification et simulation

Le chirurgien va pouvoir programmer son intervention. Dans la salle d'opération, le modèle et le plan préopératoires du patient acquis précédemment doivent être enregistrés réellement sur le patient. Cela est généralement fait en identifiant des repères ou des structures correspondantes sur le modèle préopératoire et le patient, soit par des techniques d'imagerie supplémentaires (rayons X, échographie, vidéo), par l'utilisation d'un dispositif de pointage suivi ou par le robot lui-même.

Lors de cette étape, le chirurgien peut également vérifier la faisabilité de l'acte en simulant celui-ci ou y apporter des modifications. Il faut s'assurer entre l'acquisition de l'image et l'intervention que les paramètres anatomiques du patient restent similaires, ou alors les mettre à jour en conséquence lors de la simulation.

### 1.3.1.3 Action

La dernière étape de la CAO correspond à l'intervention. Au fur et à mesure de celle-ci, des techniques d'imagerie supplémentaires ou d'autres capteurs sont utilisés pour suivre l'avancement de la procédure, mettre à jour le modèle du patient, et vérifier que la procédure planifiée a été exécutée avec succès.

En post opératoire, il faut s'assurer que les objectifs planifiés en pré-opératoire ont été atteints et que le résultat est conforme aux attentes. Les patients sont suivis sur le long terme afin de détecter toute complication éventuelle et les données patients sont évaluées et analysées dans le but d'améliorer les futures procédures (6) (7).

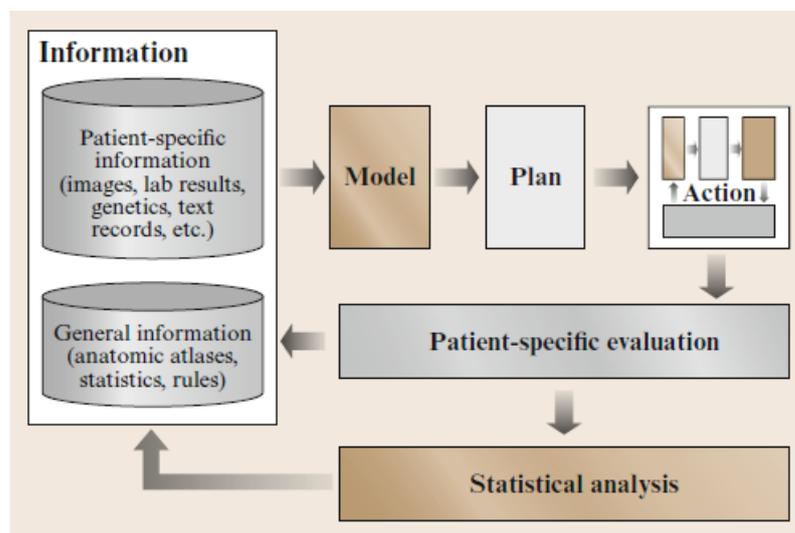


Fig. 3 : Processus général de la CAO (6).

## 1.3.2 Classification des systèmes robotiques

Divers systèmes de CAO existent et peuvent participer directement à l'intervention chirurgicale ou alors aider le chirurgien dans son geste. Il existe 3 groupes bien distincts :

- Les systèmes passifs
- Les systèmes semi-actifs
- Les systèmes actifs (8)

### 1.3.2.1 Les systèmes passifs

Les systèmes passifs ne réalisent aucune action chirurgicale, mais aident les chirurgiens, que ce soit dans la planification préopératoire ou la simulation chirurgicale. Ces systèmes fusionnent les images acquises en préopératoire aux données anatomiques du patient. Ce support aide au marquage des instruments et va permettre leur repérage dans l'espace.

On distingue différents types de guidage pour les systèmes passifs.

#### 1.3.2.1.1 La fluoronavigation

La fluoronavigation ou chirurgie naviguée par fluoroscopie est une technique d'imagerie qui utilise les rayons X et qui permet de visualiser en temps réel les organes et les structures internes en mouvement sur un écran fluorescent à l'aide d'un produit de contraste ingéré ou injecté au patient.

La fluoroscopie est utile dans divers champs d'applications médicaux, que ce soit le système digestif, le système pulmonaire ou encore la structure des tissus mous (9).

### 1.3.2.1.2 La navigation électromagnétique

La navigation électromagnétique est particulièrement utilisée en pneumologie et notamment afin d'effectuer le prélèvement d'une lésion lors d'une bronchoscopie. Le patient est installé sur une table d'examen et une planche électromagnétique est positionnée au niveau de son thorax. L'image 3D de l'arbre bronchique du patient est introduite dans l'ordinateur, ce qui donne une bronchoscopie virtuelle dans laquelle il est possible de se déplacer et de programmer un chemin d'accès à la lésion que l'on cherche à prélever. 7 points anatomiques sont repérés sur l'arbre bronchique virtuelle et sont retranscrits sur le patient à l'aide d'un bronchoscopeur et d'une sonde de guidance.

Une fois que la bronchoscopie virtuelle est superposée à la bronchoscopie réelle, le bronchoscopeur suit le chemin endoscopique indiqué par le système jusqu'à atteindre la lésion (10).

### 1.3.2.1.3 La navigation optique

La navigation optique est le système le plus couramment utilisé par les systèmes de guidage passifs. Cette technologie utilise un système de « motion tracking », de détection des mouvements. Il existe deux types de système de suivi de mouvement optique :

- Les systèmes de suivi actifs, où une caméra émet de la lumière infrarouge réfléchiée par des marqueurs.
- Les systèmes de suivi passifs, où la lumière infrarouge émise par une source lumineuse est réfléchiée par des marqueurs et transmise à une caméra.

La localisation spatiale des instruments chirurgicaux se fait grâce à des marqueurs que l'on appelle des matrices de suivi. Ces matrices vont être positionnées sur l'arcade dentaire du patient ainsi que sur le contre angle et vont permettre de réfléchir la lumière projetée par la source lumineuse vers la paire de caméra stéréo situées au-dessus du patient (11). Les systèmes de suivi optique passifs sont les plus utilisés en implantologie.

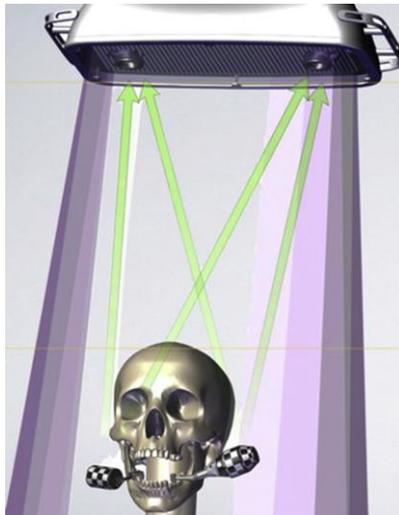


Fig. 4 : Lumière émise par la paire de caméra et réfléchié par les matrices de suivi (11).

#### 1.3.2.2 Les systèmes semi-actifs

Les systèmes semi-actifs vont assister le chirurgien en effectuant certaines actions, comme le positionnement d'instruments, de guides ou de gabarits. Le chirurgien est aidé mécaniquement dans certaines tâches, mais c'est bien lui qui réalise l'intervention chirurgicale.

#### 1.3.2.3 Les systèmes actifs

Les systèmes actifs effectuent un travail autonome. Il s'agit de robots qui opèrent seuls sous le contrôle visuel du chirurgien et d'après une programmation préopératoire adaptée (8).

Un exemple de système actif est le ROBODOC<sup>®</sup> dont l'une des utilisations est de préparer le canal fémoral pour la pose de prothèse de hanche en se basant sur la planification pré-opératoire.



Fig. 5 : Système ROBODOC®.

## **2 Applications de la chirurgie naviguée en implantologie orale**

L'une des problématiques principales lors de la pose d'un implant est le positionnement de celui-ci. De nombreuses structures anatomiques adjacentes (sinus maxillaire, canal du nerf alvéolaire inférieur, artère palatine, foramen mentonnier) sont à prendre en compte et peuvent entraîner des complications post opératoires importantes si elles sont atteintes (12).

Les guides chirurgicaux permettent d'aider le chirurgien afin d'obtenir une plus grande précision et un meilleur placement des implants. Les chirurgiens utilisent cette technique afin de minimiser les erreurs de positionnement.

Cependant, même avec ces guides, l'intervention réalisée par le chirurgien peut être affectée par la durée de celle-ci ou la fatigue physique due à une ouverture buccale limitée ou la position des dents manquantes.

La chirurgie naviguée se propose de pallier ces divers problèmes et propose diverses applications, que ce soit dans la mise en place des implants ou les chirurgies pré-implantaires (13).

## **2.1 Implantologie orale**

Dans le domaine de la chirurgie dentaire, la navigation chirurgicale trouve des applications dans le domaine de l'implantologie (11). Cette application sera plus précisément détaillée dans la suite de ce travail.

## **2.2 Piezochirurgie**

La Piezochirurgie est une technique basée sur les microvibrations ultrasonores permettant de sectionner les tissus durs (l'os) tout en respectant les tissus mous (muqueuses et nerfs). Cette technique née en 1988 présente l'avantage d'offrir une meilleure cicatrisation des tissus ainsi qu'une plus grande action désinfectante grâce aux vibrations en comparaison des techniques de coupe conventionnelles utilisant des fraises diamantées (14).

Dans le domaine de la chirurgie dentaire, la piezochirurgie possède des applications variées :

- Extractions de dents ankylosées, incluses ou enclavées
- Allongement de couronne clinique en prothèse
- Chirurgie endodontique apicale
- Ostéotomies dans le cas d'expansion de crête alvéolaire, élévations de sinus maxillaires ou retrait d'implants

Il est possible de combiner piezochirurgie et navigation chirurgicale. Cependant, peu d'études existent sur le sujet. L'une d'entre elles s'est intéressée à l'utilisation du piezo combinée à la navigation chirurgicale dans le cas d'un forage implantaire (15).

*Pellegrino G et al.* se sont intéressés à la préparation du site implantaire par piezochirurgie naviguée selon trois façons différentes :

- Préparation combinée du site implantaire par piezo et finition aux forêts
- Préparation du site implantaire par piezochirurgie naviguée en technique flapless
- Préparation du site implantaire par piezochirurgie naviguée dans le cas d'un implant court

Les auteurs concluent que l'utilisation de la piezochirurgie naviguée permet d'utiliser un insert de plus petit diamètre afin de préparer de manière plus profonde le site implantaire et de permettre une irrigation abondante tout en réduisant les dommages aux tissus mous et neurovasculaires environnants. Cela permet une meilleure stabilité primaire de l'implant.

La chirurgie naviguée permet également de modifier le diamètre ou l'orientation du site implantaire en temps réel si le praticien juge la qualité de l'os mauvaise ou si des éléments anatomiques perturbent l'intervention.

Les auteurs soulignent également que peu d'études sur l'utilisation combinée de la piezochirurgie et de la navigation ont été réalisées.

Une autre étude sur l'utilisation de la piezochirurgie naviguée a été réalisée dans le cas ostéotomies maxillo-faciales (16).

La chirurgie piézoélectrique assistée par ordinateur (CAPS) est une nouvelle technique qui combine la piezochirurgie et la navigation pour traiter divers problèmes maxillo-faciaux.

Dans cette étude rétrospective réalisée par *Bianchi et al.*, 18 patients ont été traités à l'aide de la technique CAPS entre 2010 et 2013. 4 groupes distincts ont pu être établis :

- Chirurgie orthognatique avec Lefort de type 1
- Ostéogénèse de distraction mandibulaire
- Corticotomie orthodontique
- Oncologie

D'après les résultats de cette étude, les différentes interventions grâce à la navigation ont permis un meilleur contrôle tridimensionnel de l'instrument de coupe, permettant de réduire les dommages causés aux racines dentaires habituellement fréquents. La technique est minimalement invasive, ce qui la rend plus sûre que d'autres méthodes.

Lors de l'ostéotomie, la ligne d'ostéotomie prévue initialement sur la planification est suivie en direct permettant d'assurer la qualité de l'opération.

Les auteurs concluent sur le fait que le temps d'intervention est plus long en utilisant la navigation en comparaison d'une intervention standard.

## 2.3 Endodontie

La navigation dynamique a également trouvé une place dans le domaine de l'endodontie, en particulier en microchirurgie endodontique :

- Réalisation de cavités d'accès
- Recherche de canaux calcifiés
- Chirurgies endodontiques apicales à rétro (17)

D'après une étude comparative réalisée par *Geo TD et al.*, l'utilisation d'un guide statique nécessite des étapes rigoureuses, une erreur d'enregistrement ne pouvant être corrigée au moment de la chirurgie.

L'utilisation de la navigation dynamique, à contrario, permet une ostéotomie plus efficace. La localisation de l'extrémité apicale de la racine est plus précise, réduite au minima et les erreurs iatrogènes sont minimisées. Elle permet également d'accéder à des zones difficiles d'accès pour des dents qui auraient autrement nécessité une extraction.

Une autre étude réalisée par *Zubizarreta-Macho Á et al.* (18) a conclu que l'utilisation de la navigation dynamique permettait de créer des cavités d'accès avec une perte de substance moindre et une meilleure localisation des canaux radiculaires que les cavités d'accès réalisées à main levée.

Concernant la chirurgie endodontique apicale, l'étude précise que la localisation de l'apex radiculaire à l'aide de la navigation permet une meilleure cicatrisation péri-apicale, un temps d'intervention réduit, moins de douleurs post-opératoires et moins de risques de dommage au niveau des structures adjacentes. Cependant, la courbe d'apprentissage quant à l'utilisation du système est importante et la prise en main peut s'avérer complexe.

Les deux études sont d'accord sur un point et précisent que les rapports de cas de chirurgie endodontique utilisant la navigation dynamique sont très peu documentés et nécessitent d'autres recherches.

## **2.4 Chirurgie orthognatique**

La chirurgie orthognatique concerne les actes chirurgicaux visant à rétablir l'harmonie des mâchoires et à corriger les anomalies de positions des os maxillaires et mandibulaires afin d'établir une meilleure relation d'occlusion entre les dents.

La planification opératoire conventionnelle, basée sur une analyse céphalométrique bidimensionnelle et des empreintes dentaires, présente des limites pour une simulation précise du mouvement osseux. L'identification de points de repère précis ainsi que le chevauchement des structures anatomiques ne peut être visualisé sur une image 2D.

L'arrivée des techniques d'imagerie modernes, en particulier le CBCT, combinés aux progrès de l'informatique et aux logiciels de planification chirurgicaux, permet de simuler les procédures chirurgicales et d'en prédire le résultat final (19).

La chirurgie naviguée trouve divers intérêts permettant d'améliorer les procédures chirurgicales :

- Transférer la planification chirurgicale pré-opératoire au fichier DICOM du CBCT du patient afin de localiser le lieu de l'ostéotomie/ostéotomie ou encore la position des implants d'angle mandibulaire ou zygomatiques.

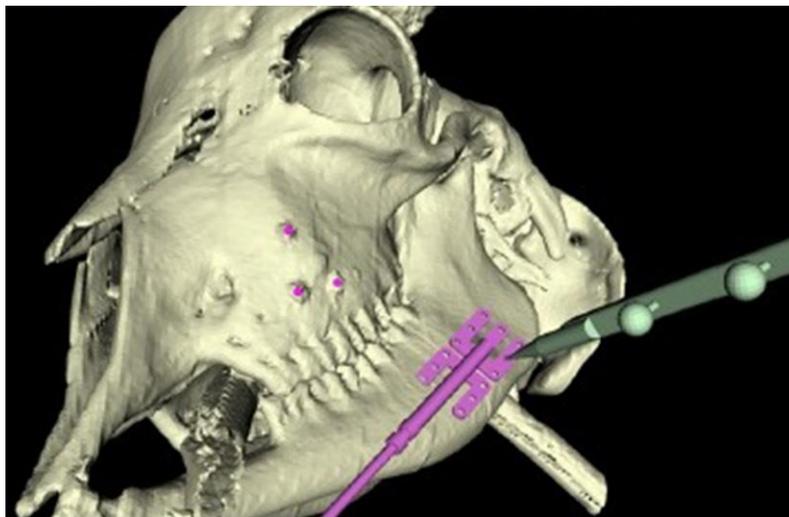


Fig. 6 : Visualisation de la position du distracteur lors de l'ostéotomie grâce à la navigation.

- Vérifier que le résultat chirurgical correspond à la planification chirurgicale. Actuellement basée sur l'occlusion, la chirurgie naviguée permet de visualiser le positionnement de certaines structures anatomiques qui ne sont pas facilement visualisables, comme le condyle mandibulaire. Une étude de *Marmulla et Mûhling* a montré que l'utilisation de la navigation chirurgicale chez les patients améliorerait la médiane de malposition des condyles, passant de 2,4mm à 0,7mm. Ces patients présentent également moins de troubles de l'articulation temporo-mandibulaires post-opératoires et ont une meilleure récupération de la mobilité mandibulaire
- Eviter de léser le nerf alvéolaire inférieur ou les sinus maxillaires lors d'interventions chirurgicales, des éléments anatomiques considérées comme « critiques ».
- Combiner les applications précédemment citées afin de réaliser des interventions complexes, comme la réalisation d'une arthroplastie du condyle ankylosé afin de créer un espace entre la fosse glénoïde et la branche montante.
- Améliorer la visibilité du champ opératoire pour le chirurgien qui dispose d'une information en temps réel (20).

## 3 Protocole opératoire du système Navident® au sein du CHR de Lille

### 3.1 Présentation du système Navident®

#### 3.1.1 Composants principales du système Navident®

Le système Navident® est un système de navigation dynamique à tracking optique passif conçu par la société Navident Claronav® qui permet à la fois au praticien de planifier et d'exécuter son intervention chirurgicale.

Le système comprend différentes parties :

- un cart mobile comprenant un bras de 90 cm.
- Un support pour un ordinateur qui contient le logiciel Navident®
- Une caméra accompagnée d'un panneau lumineux pour éclairer les cibles suivies.



Fig. 7 : Le système Navident® et ses principaux composants.

### 3.1.2 Eléments de suivi des mouvements de la mâchoire

Cette caméra va analyser des capteurs de suivi passifs qui permettent de maintenir l'alignement entre les cibles acquises au niveau de la mâchoire et l'image CBCT. Ceux-ci sont spécifiques au système et sont représentés par des motifs géométriques noirs et blancs qui sont des marqueurs optiques. Ces capteurs sont appelés « Jaw Trackers » s'ils sont positionnés sur l'arcade mandibulaire du patient ou « Head Tracker » pour l'arcade maxillaire du patient.

Le Jaw Tracker est positionné sur l'arcade mandibulaire à l'aide de composite ou de silicone placé sur le fil d'acier.



Fig. 8 : Jaw Tracker et Head Tracker.

### 3.1.3 Eléments d'enregistrements

#### 3.1.3.1 Tracers

Les « Tracers » sont des stylets d'enregistrement à pointe sphérique permettant de marquer des emplacements lors de l'étape d'enregistrement des repères. Il en existe 2 versions.

La première est le Tracer-3 qui dispose d'une pointe sphérique en acier inoxydable de 1mm de diamètre. Il dispose de marquages optiques orientés dans de nombreuses directions, ce qui lui permet d'être suivi optiquement dans presque toutes les orientations possibles. Il est réutilisable.

La seconde version est le Tracer Tool accompagné du Tracer Tag. Le Tracer Tool est intégralement en acier inoxydable et réutilisable. Il est fixé à l'aide d'une vis au Tracer Tag qui contient les marquages optiques et est une pièce à usage unique.



Fig. 9 : Tracer 3 et Tracer Tool.

### 3.1.3.2 Navibite

Un autre système peut être utilisé quand les surfaces dentaires ne peuvent pas être reconnues par le Tracer si de nombreux artéfacts métalliques sont présents ou si le chirurgien dispose d'une vision du champ opératoire réduite quand le patient a une faible ouverture buccale.

Le « Navibite » est une plaque de morsure en plastique comportant de petites vis en acier dans lequel un matériau d'enregistrement de l'occlusion dentaire est placé. Le système est ensuite placé entre les deux arcades du patient jusqu'à ce que le matériau durcisse.

Le Navibite reste ensuite en bouche pendant le scanner du patient. Il est automatiquement identifié et localisé par le système Navident® lors de l'importation des données de numérisation dans le logiciel.

Pendant la phase d'enregistrement, chaque vis du Navibite va être touchée par un Tracer afin de disposer de repères de localisation lors de la phase chirurgicale.



Fig. 10 : Navibite.

### 3.1.3.3 Repères Bone Screw

Quand le patient est entièrement édenté, des vis de fixation osseuse sont insérées dans l'os. Le scanner est réalisé avec les vis présentes en bouche, puis les têtes de vis sont touchées par la pointe du Tracer pendant la phase d'enregistrement.

### 3.1.4 Eléments de suivi de mouvements des instruments

Le « Drill Tag » est une pièce en plastique rigide conçue pour être fixée au contre angle de forage. Il est marqué de cibles optiques sur 3 faces, permettant ainsi la détection des mouvements du praticien lors de l'étape chirurgicale. Le « Drill Tag » est un élément à usage unique.

Le « Tag Adapter » est une interface mécanique rigide permettant de lier le Drill Tag au contre angle de forage. Il existe une version LS (low speed) pour les contre angles basse vitesse et les instruments de piezochirurgie et une version HS (High speed) pour les contre angles haute vitesse. Cette pièce est stérilisable et réutilisable.

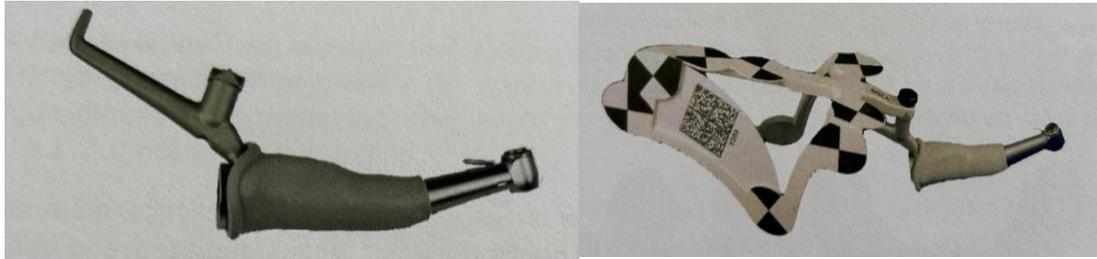


Fig. 11 : Tag Adapter monté sur contre angle (gauche) / Drill Tag connecté au contre angle grâce au Tag Adapter (droite).

### 3.1.5 Calibrateur

Le calibrateur est une pièce composée d'aluminium et de PEEK. La face avant du calibrateur comporte le marquage optique noir et blanc. La face supérieure de celui-ci contient divers éléments qui représentent les différentes étapes du calibrage :

- La première étape est le calibrage de l'axe. Le mandrin de la pièce à main est placé sur l'une des broches de calibrage représentés par les symboles 1L et 1R. un mouvement de rotation vers la gauche (1L) ou vers la droite (1R) permet au système de configurer l'axe.
- La seconde étape est le calibrage de la pointe du forêt. La pointe du foret est placé sur un cercle représenté par le symbole 2. Elle doit rester immobile pendant sa reconnaissance par le système.

Pour paramétrer le piezo, il faut se servir du 3è repère en positionnant l'instrument de coupe dans le canal en le maintenant pendant quelques secondes.



Fig. 12 : Paramétrage d'une pointe de forêt en utilisant le calibreur.

## 3.2 Fonctionnement du système Navident®

L'utilisation du système Navident® s'articule autour de 4 grandes étapes : Scanner, planifier, enregistrer et intervenir.

### 3.2.1 Scanner

Le scanner est réalisé dans un premier temps, que ce soit seul ou à l'aide du Navibite ou des vis de fixation osseuse selon la situation clinique.

### 3.2.2 Planification

Les fichiers DICOM du CBCT et éventuellement les fichiers STL sont importés dans le logiciel Navident®, créant un modèle numérique de la mâchoire du patient.

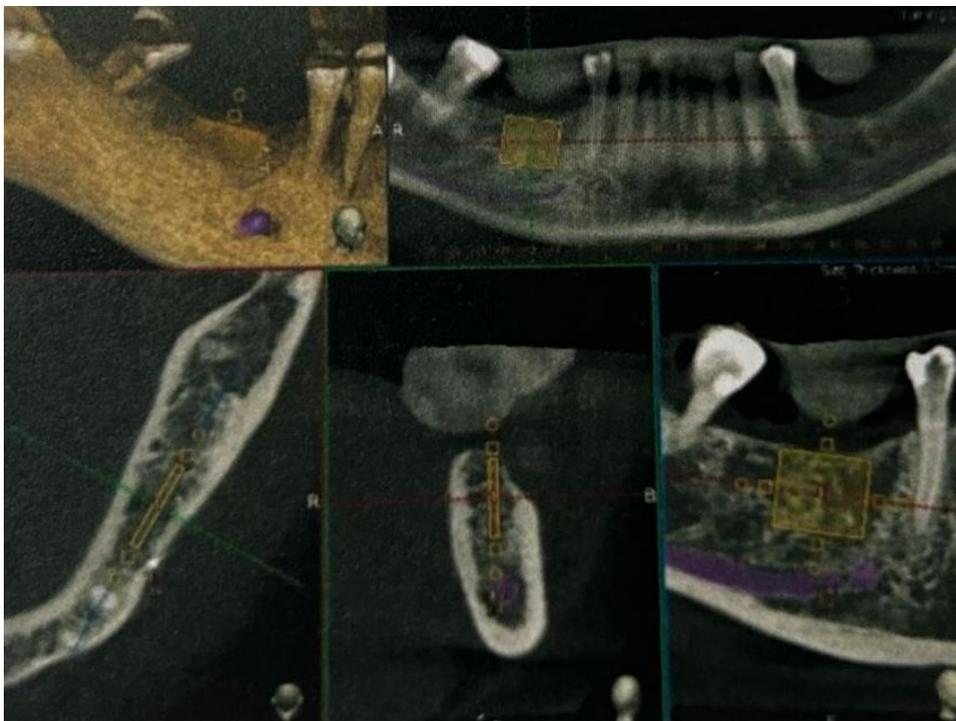


Fig. 13 : Image d'une planification sur le logiciel Navident®.

Si les repères Bone Screw sont utilisés, 3 à 10 vis facilement identifiables sont sélectionnées sur le modèle. Pour le Navibite, les vis intégrées à celui-ci sont automatiquement détectées par le logiciel lors de l'importation des fichiers

### 3.2.3 Enregistrement

Lors de l'étape d'enregistrement, le cart est positionné de sorte que le visage du patient soit détecté par la caméra. Un Jaw Tracker ou un Head Tracker est placé sur le patient selon le site d'intervention.

Le Tracer est ensuite utilisé afin de toucher les repères dentaires ou les vis sélectionnées. Une fois l'enregistrement terminé, le Navident® affiche la pointe du Tracer sur le modèle numérique, ce qui permet au chirurgien d'évaluer la précision de son acquisition. Si la précision est incorrecte, l'opérateur peut recommencer l'enregistrement en scannant soit les mêmes surfaces, soit des surfaces différentes.

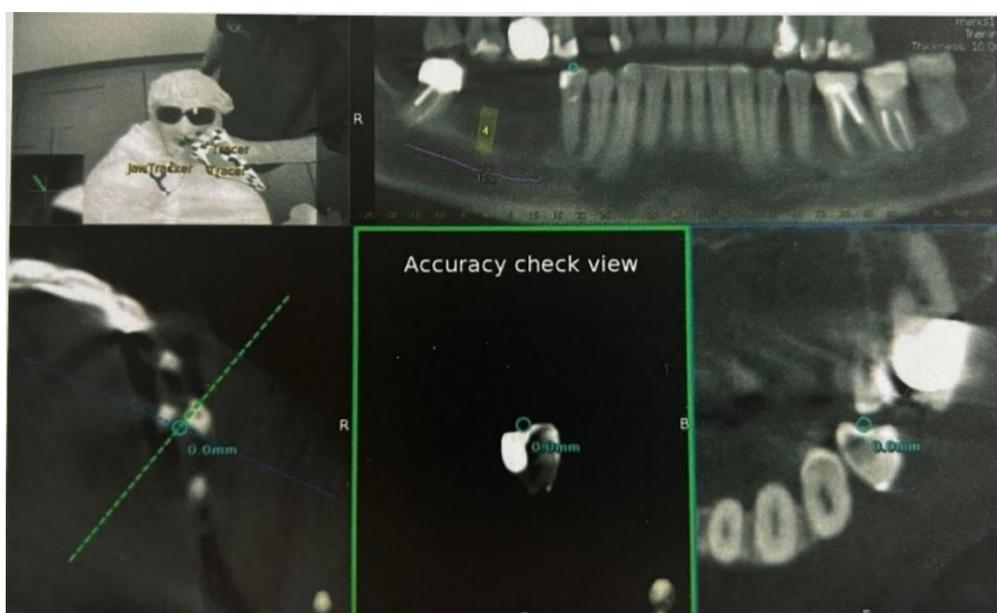


Fig. 14 : Image d'un enregistrement de surface et contrôle de la précision sur le logiciel Navident®.

### 3.2.4 Etape chirurgicale

Le Drill Tag est positionné sur la pièce à main, la pointe du forêt est calibrée. Le logiciel Navident® aide ensuite le chirurgien à visualiser l'emplacement de la pointe du forêt sur l'image numérique afin d'effectuer des contrôles de précision.

Lors de l'intervention, un indicateur visuel permet de visualiser l'écart entre la trajectoire du forêt et la position de l'implant souhaitée lors de la planification. Grâce à celui-ci, des alertes sonores et visuelles s'activent et aident le chirurgien, qui dispose d'un guide lui permettant de réajuster la position de son forêt au cours de l'intervention.

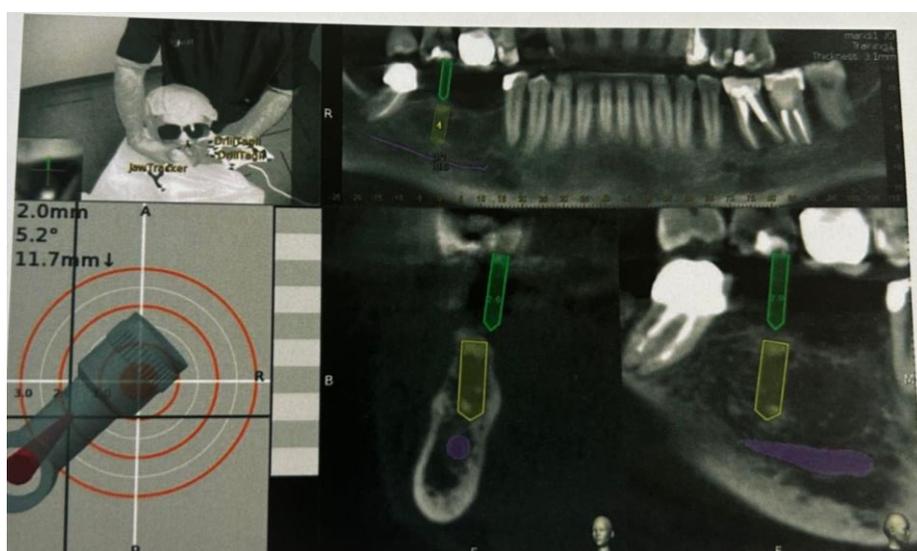


Fig. 15 : Image du forage en temps réel sur l'écran de Navigation du système Navident®.

### **3.3 Protocole opératoire**

#### 3.2.1 Temps préopératoire

##### 3.2.1.1 Examen clinique

Une anamnèse est nécessaire afin de préparer au mieux l'intervention et d'éviter toute potentielle complication.

La patiente est âgée de 24 ans. Elle ne présente aucun problème de santé ou d'allergies et ne prend aucun traitement. La patiente est non fumeuse et présente une hygiène bucco-dentaire correcte avec un parodonte sain. L'ouverture buccale est correcte. Elle cherche à remplacer sa deuxième molaire maxillaire gauche (dent n°27) qui a été extraite à la suite d'une lésion carieuse volumineuse avec atteinte du plancher pulpaire.

Compte tenu de ces facteurs, le traitement implantaire a été retenu afin de répondre à la demande de la patiente.

##### 3.2.1.2 Acquisition des données radiologiques

Toute chirurgie assistée par ordinateur nécessite un examen radiologique au préalable permettant la planification implantaire. Un CBCT de l'arcade complète ainsi qu'une radio panoramique ont été réalisés.

##### 3.2.1.3 Planification implantaire

La planification implantaire permet de choisir l'implant adapté à la situation selon le volume osseux disponible, les zones anatomiques adjacentes à préserver (sinus maxillaire) ou encore la hauteur disponible. Dans ce cas, un implant de la marque Nobel® de diamètre 4mm sur une longueur de 10mm a été retenu.

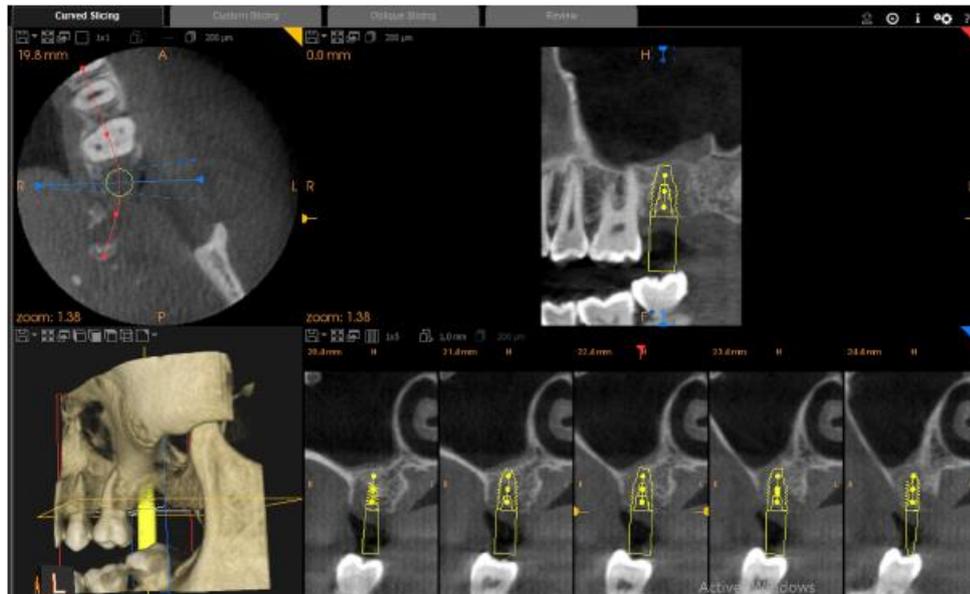


Fig. 16 : Planification implantaire réalisée sur le logiciel Navident®.

### 3.1.2.4 Planification informatique

#### Importation du CBCT

Les données DICOM du CBCT de la patiente sont importés sur l'ordinateur

Un modèle 3D de la mâchoire de la patiente est affiché. Afin de sélectionner l'arcade concernée, il convient de mobiliser la ligne horizontale rouge :

- En dessous du plan d'occlusion si l'arcade maxillaire est concernée
- Au-dessus du plan d'occlusion si l'arcade mandibulaire est concernée

Dans ce cas, le plan supérieur est choisi. Une courbe doit être ensuite dessinée, celle-ci permettant de créer la vue panoramique de l'arcade. Pour générer cette courbe, il faut à nouveau mobiliser la ligne rouge. Dans le cas de la pose d'implant, il est convenu de la positionner au niveau du milieu des racines dentaires de l'arcade choisie. La courbe est tracée, les points de départ et d'arrivée de la courbe détermineront les limites de la vue panoramique.

La dernière étape consiste à vérifier qu'il n'y ait pas d'artéfacts qui pourraient compromettre la précision de la navigation.

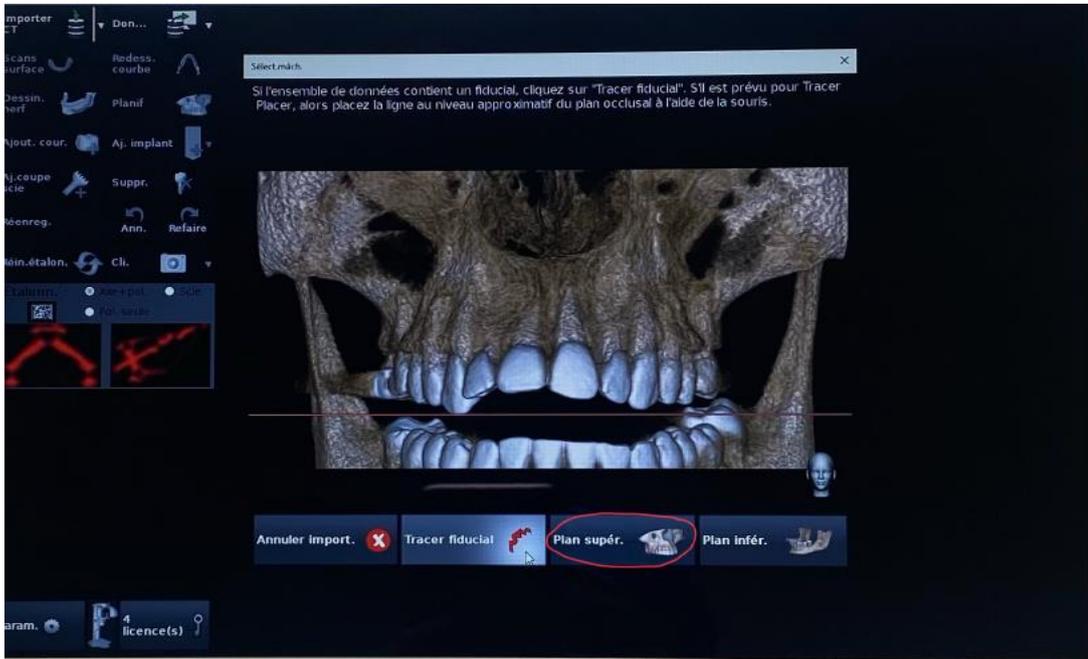


Fig.17 : Sélection de la mâchoire concernée par l'implantation.



Fig.18 : Création de la radiographie panoramique de l'arcade dentaire de la patiente.

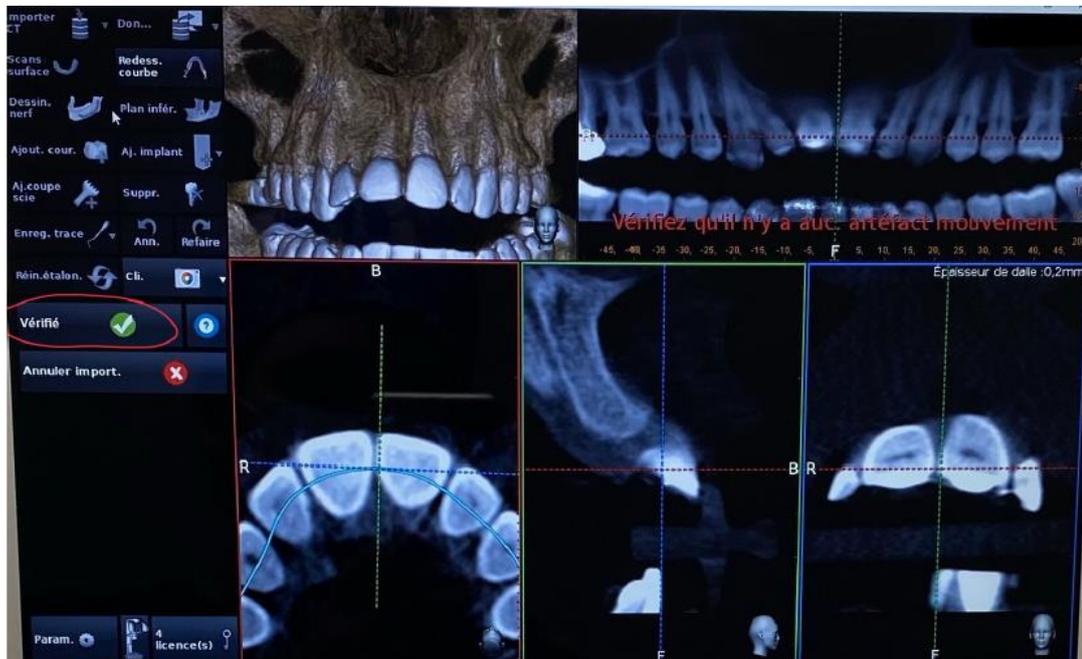


Fig. 19 : Vérification de la présence d'artéfacts sur les images radiographiques de la patiente.

### Planification implantaire et prévisualisation du projet prothétique

Une fois le CBCT importé, le chirurgien préfigure le projet prothétique en y ajoutant la future prothèse. Le chirurgien clique sur la dent concernée et déplace la couronne dans la position qui lui semble la plus adaptée sur une des vues 2D. Le praticien peut ensuite modifier la couronne, que ce soit sur son axe, sa hauteur ou sa largeur. Le praticien a également la possibilité d'intégrer un wax-up physique ou virtuel de la future couronne, ce qui lui permet d'avoir un aperçu numérique de la situation clinique finale.

Dans un second temps, l'implant prévu lors de la planification implantaire est positionné virtuellement en fonction du projet prothétique.

Une fois que l'implant et la couronne sont positionnés comme il le souhaite, le chirurgien enregistre son tracé et sélectionne entre 3 à 6 repères dentaires qu'il devra marquer afin de permettre au système Navident® de se repérer dans l'espace.



Fig. 20 : Prévisualisation du projet prothétique.

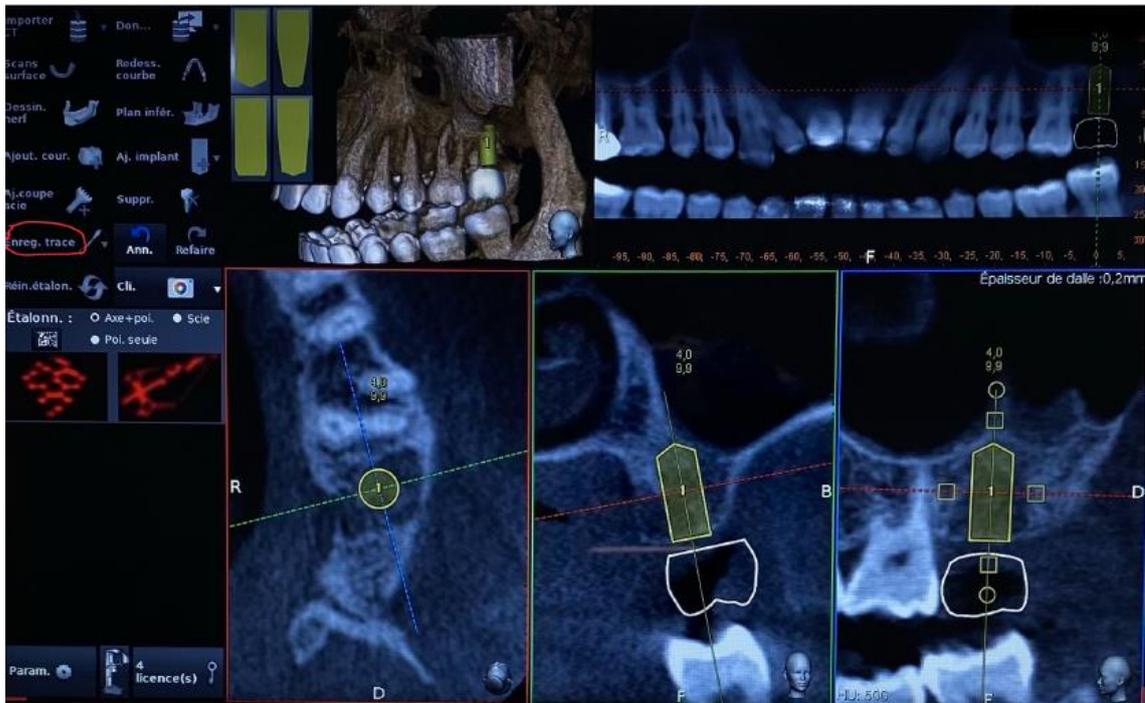


Fig. 21 : Positionnement du futur implant en fonction du projet prothétique.

### 3.2.2 Temps per-opérateur

#### Installation du plateau opératoire et de la patiente

Le plateau chirurgical est préparé et la patiente est installée. L'anesthésie, l'incision et le décollement gingival sont réalisés dans un premier temps.



Fig. 22 : Préparation du plateau chirurgical destiné à l'intervention.

#### Positionnement du Tracker

Le « Head Tracker » est ensuite positionné sur la tête de la patiente. Il est composé de 2 branches lui permettant de reposer sur les oreilles et d'un arceau sur lequel les motifs géométriques noirs et blanc spécifiques au système Navident® sont placés et seront reconnus par la caméra et le logiciel afin de se repérer dans l'espace.

Afin de permettre sa reconnaissance, le Head Tracker doit être situé à moins d'un mètre de la caméra tout en évitant un éclairage trop intense. Il ne faut surtout plus y toucher durant la totalité de l'intervention au risque de fausser l'intégralité de la séquence opératoire.



Fig. 23 : Positionnement du Head Tracker sur le visage de la patiente.

### Calibrage

Le « Drill Tag » est positionné sur le contre angle de forage afin de pouvoir le localiser lors de la séquence de forage.

Un QR code positionné sur le calibre est lu par la caméra. Il permet de transférer la planification implantaire et prothétique de la patiente et de calibrer chaque instrument et chaque forêt en fonction de la séquence opératoire prévue.



Fig. 24 : Calibrage du Tracer 3.

## Tracing/Etalonnage

A l'aide d'une sonde ou « Tracer », les références dentaires sélectionnées en amont sont scannées. Il faut scanner tout le long de la surface dentaire afin de valider l'acquisition. Entre chaque repère scanné, il faut repositionner la sonde sur le calibre et répéter l'opération.

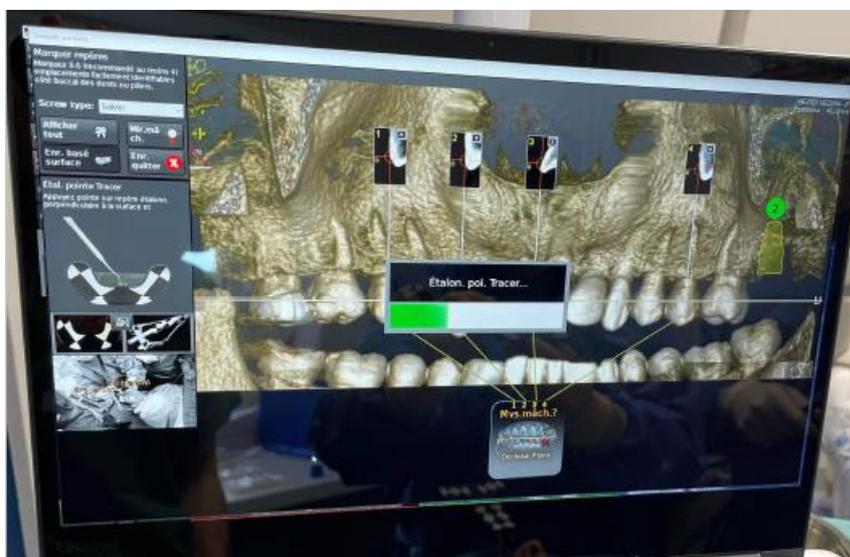


Fig. 25 : Visualisation du logiciel au cours de l'étalonnage.



Fig. 26 : Etalonnage réalisé sur la patiente à l'aide du Tracer 3.

### Séquence de forage et mise en place de l'implant

Les différents forêts sont passés afin de positionner l'implant. Un calibrage est nécessaire avant chaque passage de forêt pour que le système détermine sa longueur et ainsi éviter les erreurs de forage.

Dès ce moment, le chirurgien peut suivre son opération en direct sur l'ordinateur. Il peut y suivre son forage et vérifier son axe, sa longueur, la position de son forêt grâce à un code couleur (vert, jaune, rouge) qui lui indique sa précision par rapport à la planification implantaire.

La fiabilité de l'acquisition doit être contrôlée régulièrement avec un contrôle visuel direct.



Fig. 27 : Calibrage du forêt lors de la séquence opératoire.



Fig. 28 : Forage réalisé à l'aide du contre angle et du Drill Tag.

### Vue d'écran durant l'intervention

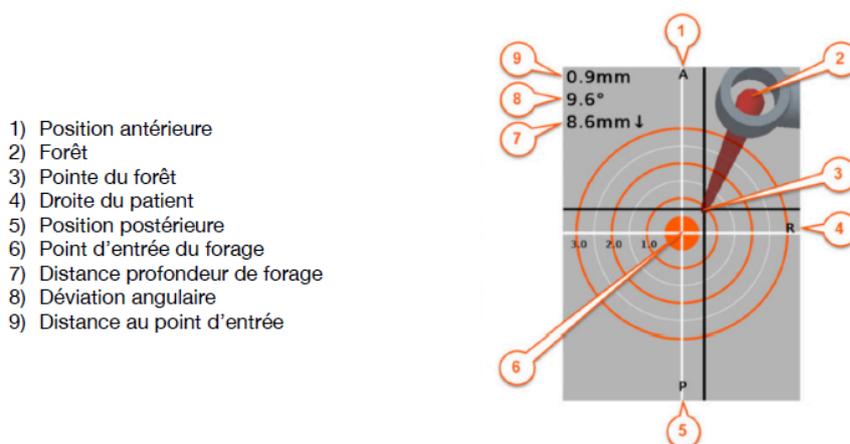


Fig. 29 : Ensemble des paramètres visibles lors de l'intervention.

### 3.2.3 Temps post opératoire

Les conseils post opératoires sont données à la patiente ainsi que son ordonnance. Une radiographie panoramique de contrôle est effectuée afin de vérifier le positionnement de l'implant.



Fig. 30 : Radiographie panoramique finale de contrôle.

## **4 Discussion et comparaison entre navigation, positionnement à main levée et utilisation d'un guide chirurgical**

### **4.1 Positionnement à main levée/guide chirurgical**

#### 4.1.1 Technique chirurgicale conventionnelle

La technique chirurgicale conventionnelle, aussi appelée chirurgie de positionnement à « main levée » consiste à positionner sans système de guidage un implant en s'appuyant sur la planification pré-opératoire (2D ou 3D, la planification 3D étant fortement recommandée) et en fonction de l'appréciation et de l'expérience du praticien.

Aucun guide chirurgical n'est utilisé lors du forage ou de la mise en place de l'implant (21).

#### 4.1.2 Pose d'implant à l'aide d'un guide chirurgical

Une approche plus moderne de l'implantologie consiste à transférer les informations obtenues lors de la planification pré-chirurgicale et prothétique à l'aide d'un guide chirurgical lors de l'étape de chirurgie. Les guides chirurgicaux sont utilisés lors de la séquence de forage et de mise en place de l'implant (21).

Les guides chirurgicaux sont en général classifiés en fonction de la surface d'appui et en fonction du tissu sur lesquels ils reposent. Il en existe trois types.

##### 4.1.2.1 Guide chirurgical à appui dentaire

Ce type de guide prend appui sur les dents résiduelles bordant l'édentement. Il est indiqué dans des cas d'édentement partiel encastré antérieur ou postérieur, plus précisément pour les édentements unitaires antérieurs.

Il peut aussi être indiqué dans des édentements terminaux si la zone édentée est inférieure à 30 mm. Au-delà, le risque de déformation et d'erreur augmente (22).

Il est considéré comme le plus simple, le plus stable et le plus précis des guides à utiliser.

#### 4.1.2.2 Guide chirurgical à appui muqueux (technique flapless)

Ce guide est indiqué dans des cas d'édentement totaux ou d'édentements partiels supérieurs à 30 mm et prend appui directement sur la muqueuse.

La muqueuse étant une surface dépressible, il faut stabiliser ce guide afin d'éviter les erreurs d'axe et d'angulation lors de la pose des implants en exerçant une pression homogène sur sa surface. Une clé de positionnement occlusale rigide permet d'éviter la bascule du guide afin de positionner correctement les vis transcorticales de stabilisation qui assureront son maintien au cours de l'intervention.

L'avantage de ce guide réside dans l'utilisation de la technique Flapless qui évite la levée d'un lambeau trop important. Cependant, elle ne permet pas la conservation de gencive kératinisée en vestibulaire de l'implant et ne doit être utilisée qu'en présence d'au moins 4 mm de gencive kératinisée afin d'assurer l'esthétique des futures prothèses sur implants (22).

#### 4.1.2.3 Guide chirurgical à appui osseux

Ces guides sont de moins en moins utilisés car il est nécessaire de lever un lambeau de plein épaisseur plus invasif et qui implique un meilleur contrôle des suites opératoires.

Ce type de guide est indiqué dans des cas de « All on four », « All on six » ou si une greffe osseuse ou une ROG (Régénération Osseuse Guidée) est nécessaire.

Tout comme le guide à appui muqueux, il est stabilisé à l'aide de vis transcorticales (22).

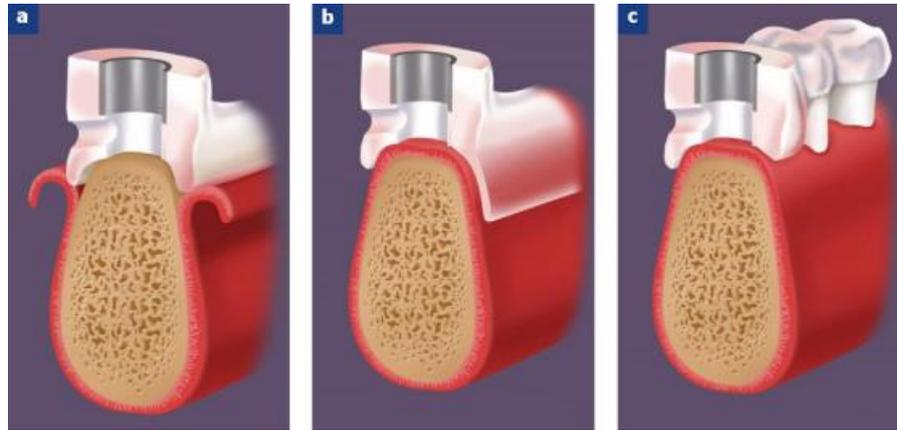


Fig. 31 : guides chirurgicaux selon le type d'appui : a) appui dentaire b) appui muqueux c) appui osseux.

#### 4.1.2.4 Guide a étages

Une des dernières innovations en matière de guidage est le guide chirurgical à étages. Ce guide est composé de différentes parties :

- Le guide base, fixé pendant toute la durée de l'intervention sur l'os cortical vestibulaire via de petites clavettes positionnées dans des puits.
- Le guide de positionnement de la base
- Le guide de forage chirurgical permettant la mise en place des implants
- La prothèse provisoire usinée

Il existe différents moyens de rétention permettant de solidariser le guide base avec les divers éléments, que ce soit à l'aide d'aimants ou d'emboitements entre partie male/femelle.

Le guide à étages peut être utilisé dans des cas de réhabilitation totale ou partielle. Le guide de positionnement de la base peut prendre appui sur les organes dentaires restants si certaines dents sont conservées, ou alors directement sur la muqueuse et l'os si le patient est édenté complet. Dans ce cas, une réplique du projet prothétique est confectionnée et positionnée sur le guide base. Le patient croque sur cette réplique afin de pouvoir passer les différentes vis dans les clavettes permettant de maintenir le guide base.

Les avantages du guide à étage sont multiples :

- On peut positionner sur ce guide base un guide de forage permettant la mise en place des implants de manière guidée, ce qui permet un bénéfice esthétique et prothétique.
- On peut également de servir de ce guide base comme guide de résection osseuse dans des cas d'égression afin de niveler le niveau osseux.
- Possibilité en fin d'intervention de fixer la prothèse provisoire par l'intermédiaire de piliers provisoires (23).



Fig. 32 : Guide à étages constitué de haut en bas du guide base, du guide de positionnement, du guide de forage et de la prothèse provisoire. Courtoisie du Dr. Boschini.

## 4.2 Avantages de la navigation chirurgicale

La navigation chirurgicale dispose de certains avantages non négligeables par rapport aux techniques plus conventionnelles.

### 4.2.1 Précision

Auparavant, les implants étaient positionnés en fonction de l'os résiduel. Cela entraînait souvent des complications techniques (fractures), des complications biologiques (absence d'ostéointégration, perte osseuse péri-implantaire) et des complications esthétiques (récession de la muqueuse, exposition du col implantaire et insatisfaction esthétique (24).

Un positionnement imprécis de l'implant peut entraîner d'autres conséquences (11) :

- Lésions nerveuses (nerf alvéolaire inférieur)
- Hématome du plancher buccal
- Lésions des racines adjacentes
- Perforations sinusiennes.

Certaines situations cliniques requièrent un positionnement implantaire précis, notamment dans les zones esthétiques. Afin de répondre à cette problématique de précision, la pratique de l'implantologie a évolué vers un changement de paradigme. Désormais, la position idéale de la future restauration prothétique guide la position de l'implant plutôt que les seules exigences chirurgicales.

Cette nouvelle vision de l'implantologie est considérée comme un facteur important dans la réalisation d'une synergie à long terme entre l'unité implant-prothèse et les tissus durs-mous environnants (25).

Ainsi, afin d'orienter les praticiens vers la technique leur permettant d'obtenir les meilleurs résultats esthétiques et fonctionnels à long terme, des études sur la précision des divers méthodes de pose ont été réalisées (26). Ces mesures de précision sont basées sur l'écart moyen entre la position réelle de l'implant et sa position virtuelle sur le logiciel de planification implantaire et se détermine en mesurant 4 paramètres :

- La déviation au point d'impact du forage, c'est-à-dire au niveau du col de l'implant (en mm)
- La déviation à l'apex de l'implant (en mm)
- La déviation de l'axe ou l'angulation de l'implant (en degré)
- La déviation de profondeur (en mm)

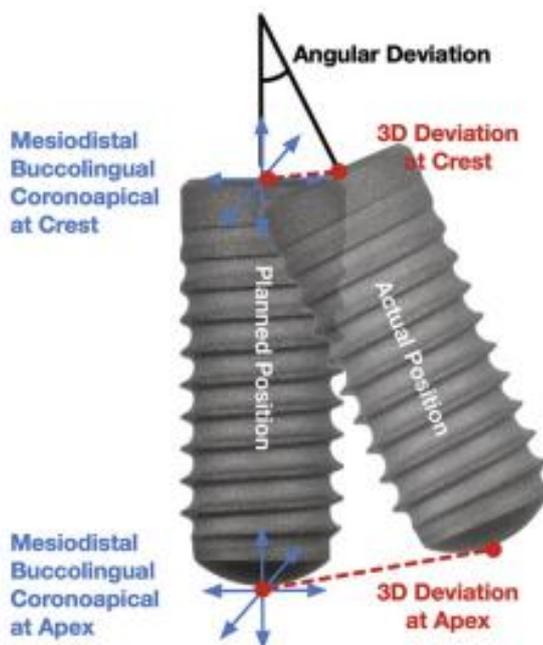


Fig. 33 : Paramètres de comparaison permettant d'évaluer la précision (26).

#### 4.2.1.1 Tableaux comparatifs

Concernant les techniques plus conventionnelles, une étude de *Vermeulen J* s'est intéressée à la différence de précision entre la technique à main levée et l'utilisation d'un guide statique en se basant sur ces paramètres (Tableau 1) (27).

Tableau 1 : Comparaison de la précision entre le positionnement à main levée et le positionnement à l'aide d'un guide selon *Vermeulen J* (27)

	<b>Déviatiion angulaire</b>	<b>Déviatiion latérale au col/à l'apex</b>	<b>Déviatiion de profondeur au col/à l'apex</b>
<b>Main levée</b>	7,63°	0,52 mm/1,28 mm	0,78 mm/0,73 mm
<b>Guide statique</b>	2,19°	0,42 mm/1,27 mm	0,54 mm/0,54 mm

Les résultats de cette étude montrent une déviation angulaire moins importante à l'aide du guide et un positionnement général de l'implant, que ce soit au col ou à l'apex, plus fidèle à la planification pré-opératoire qu'en plaçant l'implant à main levée.

Une étude réalisée par *Aydemir CA, et al.* s'est aussi intéressée à cette différence en prenant en compte cette fois la navigation chirurgicale et la technique à main levée. 43 implants ont été placés dans chacune de ces techniques et des mesures ont pu être effectuées (Tableau 2) (28).

Tableau 2 : Comparaison de la précision entre le positionnement à main levée et le positionnement à l'aide de la navigation selon *Aydemir CA, et al.* (28)

	<b>Déviaton angulaire</b>	<b>Déviaton latérale au col implantaire</b>	<b>Déviaton latérale à l'apex implantaire</b>
<b>Main levée</b>	10,04°	1,70 mm	2,51 mm
<b>Navigation</b>	5,59°	1,01 mm	1,83 mm

A l'aide de la navigation chirurgicale, on constate que la déviation angulaire ainsi que la déviation latérale au col et à l'apex de l'implant est plus faible que lors du placement à main levée.

Des études plus récentes ont cherché à comparer la précision de la navigation dynamique par rapport au positionnement à main levée et au positionnement guidé. *Chen et al.* en ont réalisé une dont voici les résultats (Tableau 3) (29)

Tableau 3 : Comparaison de la précision entre le positionnement à main levée, l'utilisation d'un guide et la navigation dynamique selon *Chen et al.* (29)

	Déviatiion angulaire	Déviatiion au niveau du col	Déviatiion au niveau de l'apex
<b>Main levée</b>	9,26°	1,44 mm	2 mm
<b>Guide statique</b>	6,02°	1,02 mm	1,50 mm
<b>Navigation dynamique</b>	4,45°	1,07 mm	1,35 mm

Cette étude confirme le gain de précision de la navigation dynamique par rapport aux guides chirurgicaux et la technique main levée.

Une dernière étude réalisée par *Jorba-Garcia et al.* présentée ici s'est intéressée à la précision du système Navident® sur la pose de 18 implants opposée à une pose de 18 implants de manière traditionnelle (Tableau 4) (30).

Tableau 4 : Comparaison de la précision entre le positionnement à main levée et l'utilisation de la navigation chirurgicale à l'aide du système Navident® selon *Jorba-Garcia et al.* (30)

	<b>Déviations angulaire</b>	<b>Déviations latérales au col/à l'apex</b>	<b>Déviations de profondeur à l'apex</b>
<b>Main levée</b>	9,7°	1,50 mm/2,26 mm	0,57 mm
<b>Navigation</b>	1,6°	1,29mm/1,33 mm	0,88 mm

Encore une fois, la précision offerte par le système Navident® est un atout majeur dans le positionnement implantaire.

#### 4.2.2 Sécurité et flexibilité de l'intervention

Le positionnement à l'aide de la navigation et le contrôle en temps réel de la situation apporte une amélioration notable de la sécurité pour le patient. En effet, le chirurgien dispose d'une vision directe sur le site, sans être encombré d'un guide qui limite la visibilité per-opératoire, et dispose grâce au système d'un rétrocontrôle sur la situation intra-osseuse lors du forage lui assurant une marge de sécurité et de confiance supplémentaire.

De cette manière, le chirurgien a également la possibilité de modifier la planification initiale au fur et à mesure de la situation clinique rencontrée. Celle-ci se basant sur les examens radiographiques pré-opératoires, la situation peut le contraindre de modifier le positionnement de l'implant ou sa taille (11).

### 4.2.3 Efficacité opératoire

L'absence de guide chirurgical et la pleine visibilité du site opératoire permet au chirurgien de poser des implants même chez des patients ayant une ouverture buccale limitée ou dans des cas d'implantation postérieure où la visibilité est réduite.

Cette technique permet d'accéder à des zones étroites ne comportant qu'une seule dent, notamment au niveau des incisives mandibulaires antérieures, là où la navigation n'est pas limitée par la hauteur ou la largeur de la douille de forage du guide chirurgical (31).

### 4.2.4 Ergonomie

Le chirurgien bénéficie d'une vision directe du site opératoire, mais surtout indirecte, représentée directement sur l'écran du système. Cela lui permet d'adopter une position de travail ergonomique et optimale. De moindres tensions s'exercent au niveau du cou, du dos et des épaules, ce qui permet au praticien de préserver une meilleure posture et de réduire l'apparition ou l'aggravation de certains troubles musculosquelettiques (32).

## **4.3 Inconvénients de la navigation chirurgicale**

Bien qu'il existe des points très positifs pour les systèmes de navigation, il persiste certaines difficultés spécifiques à cette technique.

### 4.3.1 Courbe d'apprentissage

Un des inconvénients majeurs de ces systèmes de navigation est la courbe d'apprentissage. Le terme courbe d'apprentissage fait référence à l'accumulation d'expériences grâce à la répétition d'une activité. En effet, beaucoup de repères sont modifiés pour le chirurgien qui souhaite s'équiper d'un système de navigation, que ce soit l'installation ou le calibrage des différentes pièces en phase pré-opératoire.

Certaines études ont été réalisées sur ce sujet. L'une d'elles s'est intéressée au temps moyen d'intervention et montre qu'une intervention à main levée dure en moyenne 4 minutes contre 8 minutes 30 pour la navigation dynamique (30). Cette même étude montre qu'un praticien confirmé comme novice passe en moyenne 2 fois plus de temps lors de l'intervention quelque soit la technique utilisée.

Certains auteurs considèrent qu'il existe une marge de progression importante sur 5 interventions (33). Une autre étude a montré qu'il fallait environ 20 cas pour commencer à maîtriser le système (32).

#### 4.3.2 Investissement initial

L'achat de ce système est également un frein à sa démocratisation. Il faut aujourd'hui compter entre 20 000 € et 30 000 € pour faire l'acquisition d'un système de navigation (34).

Dans le cas du Navident, le prix d'achat est autour de 25 000 €. Certaines pièces sont à usage unique, comme le Drill Tag qui coute environ 60 €.

L'investissement initial est important, cependant sur le long terme et une fois l'achat du système amorti, l'intervention avec un système de navigation devient moins couteuse que l'utilisation d'un guide chirurgical fabriqué par le laboratoire.

#### 4.3.3 Interférences et complications techniques

Certaines difficultés liées au système peuvent survenir tout au long de l'intervention (35) :

- Interférence optique : les interférences optiques compromettent la capacité de suivi et sont provoquées par l'interposition d'un obstacle entre la caméra et les marqueurs de suivi passifs. Le champ de vision de la caméra doit rester clair et les opérateurs et assistants doivent rester attentifs afin de ne pas obstruer le suivi.

- Bascule du marqueur d'arcade : il faut s'assurer que les Trackers soient correctement positionnés et bien maintenus tout le long de l'intervention. Un manque de stabilité de celui-ci peut entraîner des erreurs et rendre le suivi imprécis.

#### **4.4 Dans quel contexte privilégier la navigation ?**

La navigation chirurgicale est une technique assez récente qui dispose de son lot d'avantages et d'inconvénients. Cependant, elle est parfaitement adaptée à certaines situations où la chirurgie guidée ou la technique à main levée n'offriraient pas d'aussi bon résultats.

Ainsi *Block MS et al.* ont défini les indications les plus propices aux navigateurs (36) :

- pose d'implants chez des patients présentant une ouverture buccale limitée
- pose de l'implant le jour même du scan CBCT
- pose d'implants dans des endroits difficiles d'accès comme au niveau des 2<sup>e</sup> molaires
- quand le placement des implants en vision directe est complexe
- pose d'implants dans des espaces interdentaires étroits et où les guides statiques ne peuvent être utilisés en raison de la taille du tube

Dans certaines situations, la chirurgie naviguée et la chirurgie guidée ont des indications relativement similaires tout en étant plus efficaces que la chirurgie à main levée. Ainsi, quelque soit le choix de la méthode, elles peuvent être utilisées :

- lors d'une approche flapless quand le site a déjà subi une greffe et que le praticien ne souhaite pas détériorer la partie superficielle du greffon
- lors du placement d'implants adjacents qui nécessite un espacement régulier avec les dents adjacentes
- lorsqu'une angulation précise est requise, notamment dans le cas de zones esthétiques
- afin de contrôler la profondeur lors du positionnement afin d'éviter les traumatismes nerveux.

## Conclusion

L'implantologie orale est une discipline qui a connu une évolution significative au cours des dernières années. L'utilisation d'implants se démocratise et permet d'offrir une alternative avantageuse en termes d'esthétique et de confort par rapport aux techniques traditionnelles.

L'essor du numérique et des appareils d'imagerie tridimensionnelle joue un rôle important dans cette évolution. Le numérique permet aujourd'hui de prévoir le positionnement implantaire et les guides chirurgicaux couramment utilisés permettent d'assurer avec une grande précision le placement de l'implant tel qu'il est planifié.

Le système Navident® est une technologie encore récente et assez méconnue, mais qui pourtant présente de nombreux avantages par rapport aux techniques habituelles en termes de précision, de sécurité et de confort aussi bien pour le patient que pour le praticien. La possibilité de modifier le plan de traitement en phase pré-opératoire, la réduction des complications post-opératoires, un meilleur positionnement implantaire ainsi que son approche prévisible et reproductible permet d'assurer une réussite sur le long terme des plans de traitement implantaires.

Cependant, son utilisation nécessite une formation ainsi qu'une intégration efficace dans la pratique clinique. De plus, son acquisition nécessite un investissement important pouvant représenter un frein à sa démocratisation.

Cette thèse a pour objectif de mettre en lumière les avancées que pourraient offrir ce système dans le cadre de l'implantologie orale. Son utilisation judicieuse combinée à une formation approfondie, peut ouvrir de nouvelles perspectives dans la pratique de l'implantologie et contribuer à l'amélioration globale des résultats cliniques tout en évoluant vers la simplification de la pratique implantaire.

Pour conclure, on peut penser que les progrès technologiques vont continuer de jouer un rôle central dans l'évolution de l'implantologie orale. La chirurgie naviguée est encore une technique récente nécessitant certains ajustements mais qui représente l'avenir de l'implantologie numérique. On peut penser que cette évolution passera par certaines innovations, notamment en

intégrant l'intelligence artificielle et la robotique, afin de repousser les limites actuelles de la chirurgie naviguée.

## Table des illustrations

Fig. 1 : Automated Endoscopic System for Optimal Positioning (1).....	17
Fig. 2 : Chirurgien aux commandes du robot chirurgical DA VINCI®.....	18
Fig. 3 : Processus général de la CAO (6).....	21
Fig. 4 : Lumière émise par la paire de caméra et réfléchiée par les matrices de suivi (11). .....	24
Fig. 5 : Système ROBODOC®.....	25
Fig. 6 : Visualisation de la position du distracteur lors de l'ostéotomie grâce à la navigation.....	30
Fig. 7 : Le système Navident® et ses principaux composants.....	31
Fig. 8 : Jaw Tracker et Head Tracker.....	32
Fig. 9 : Tracer 3 et Tracer Tool.....	33
Fig. 10 : Navibite. ....	34
Fig. 11 : Tag Adapter monté sur contre angle (gauche) / Drill Tag connecté au contre angle grâce au Tag Adapter (droite). ....	35
Fig. 12 : Paramétrage d'une pointe de forêt en utilisant le calibre. ....	36
Fig. 13 : Image d'une planification sur le logiciel Navident®.....	37
Fig. 14 : Image d'un enregistrement de surface et contrôle de la précision sur le logiciel Navident®.....	38
Fig. 15 : Image du forage en temps réel sur l'écran de Navigation du système Navident®.....	39
Fig. 16 : Planification implantaire réalisée sur le logiciel Navident®.....	41
Fig.17 : Sélection de la mâchoire concernée par l'implantation. ....	42
Fig.18 : Création de la radiographie panoramique de l'arcade dentaire de la patiente. ....	42
Fig. 19 : Vérification de la présence d'artéfacts sur les images radiographiques de la patiente.....	43
Fig. 21 : Positionnement du futur implant en fonction du projet prothétique.....	44
Fig. 22 : Préparation du plateau chirurgical destiné à l'intervention. ....	45
Fig. 23 : Positionnement du Head Tracker sur le visage de la patiente. ....	46
Fig. 24 : Calibrage du Tracer 3.....	46
Fig. 25 : Visualisation du logiciel au cours de l'étalonnage. ....	47
Fig. 26 : Etalonnage réalisé sur la patiente à l'aide du Tracer 3.....	47
Fig. 27 : Calibrage du forêt lors de la séquence opératoire.....	48

Fig. 28 : Forage réalisé à l'aide du contre angle et du Drill Tag. ....	49
Fig. 29 : Ensemble des paramètres visibles lors de l'intervention. ....	49
Fig. 30 : Radiographie panoramique finale de contrôle. ....	50
Fig. 31 : guides chirurgicaux selon le type d'appui : a) appui dentaire b) appui muqueux c) appui osseux. ....	53
Fig. 32 : Guide à étages constitué de haut en bas du guide base, du guide de positionnement, du guide de forage et de la prothèse provisoire. Courtoisie du Dr. Boschini.....	54
Fig. 33 : Paramètres de comparaison permettant d'évaluer la précision (26)..	56

## Table des tableaux

Tableau 1 : Comparaison de la précision entre le positionnement à main levée et le positionnement à l'aide d'un guide selon <i>Vermeulen J (27)</i> .....	57
Tableau 2 : Comparaison de la précision entre le positionnement à main levée et le positionnement à l'aide de la navigation selon <i>Aydemir CA, et al. (28)</i> .....	58
Tableau 3 : Comparaison de la précision entre le positionnement à main levée, l'utilisation d'un guide et la navigation dynamique selon <i>Chen et al. (29)</i> .....	59
Tableau 4 : Comparaison de la précision entre le positionnement à main levée et l'utilisation de la navigation chirurgicale à l'aide du système Navident® selon <i>Jorba-Garcia et al. (30)</i> .....	60

## Références bibliographiques

1. Leal Ghezzi T, Campos Corleta O. 30 Years of Robotic Surgery. *World J Surg.* 1 oct 2016;40(10):2550-7.
2. Pugin F, Bucher P, Morel P. Histoire de la chirurgie robotique : d'AESOP à Da Vinci® en passant par Zeus®. *J Chir Viscérale.* 1 oct 2011;148(5, Supplement):S3-8.
3. Gomes P. Surgical robotics: Reviewing the past, analysing the present, imagining the future. *Robot Comput-Integr Manuf.* 1 avr 2011;27(2):261-6.
4. Landaeta-Quinones CG, Hernandez N, Zarroug NK. Computer-Assisted Surgery: Applications in Dentistry and Oral and Maxillofacial Surgery. *Dent Clin North Am.* 1 juill 2018;62(3):403-20.
5. Chen YW, Hanak BW, Yang TC, Wilson TA, Hsia JM, Walsh HE, et al. Computer-assisted surgery in medical and dental applications. *Expert Rev Med Devices.* juill 2021;18(7):669-96.
6. Taylor RH, Menciassi A, Fichtinger G, Fiorini P, Dario P. Medical Robotics and Computer-Integrated Surgery. In: Siciliano B, Khatib O, éditeurs. *Springer Handbook of Robotics* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2016 [cité 6 mars 2023]. p. 1657-84. (Springer Handbooks). Disponible sur: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1\\_63](https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1_63)
7. Xiao ZR, Xiong G. Computer-assisted Surgery for Scaphoid Fracture. *Curr Med Sci.* déc 2018;38(6):941-8.
8. Hernandez D, Garimella R, Eltorai AEM, Daniels AH. Computer-assisted Orthopaedic Surgery. *Orthop Surg.* 2017;9(2):152-8.
9. de Gauzy JS, Accadbled F, Kinkpe C, Knorr J, Abid A. [Fluoronavigation in scoliosis surgery]. *Arch Pediatr Organe Off Soc Francaise Pediatr.* juin 2008;15(5):667-8.
10. Schwarz Y. Electromagnetic navigation. *Clin Chest Med.* mars 2010;31(1):65-73, Table of Contents.
11. Panchal N, Mahmood L, Retana A, Emery R. Dynamic Navigation for Dental Implant Surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin N Am.* 1 nov 2019;31(4):539-47.
12. Kageyama I, Maeda S, Takezawa K. Importance of anatomy in dental implant surgery. *J Oral Biosci.* juin 2021;63(2):142-52.
13. Wu Y, Wang F, Fan S, Chow JKF. Robotics in Dental Implantology. *Oral Maxillofac Surg Clin N Am.* août 2019;31(3):513-8.
14. Pavlíková G, Foltán R, Horká M, Hanzelka T, Borunská H, Sedý J. Piezosurgery in oral and maxillofacial surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg.* mai 2011;40(5):451-7.

15. Pellegrino G, Taraschi V, Vercellotti T, Ben-Nissan B, Marchetti C. Three-Dimensional Implant Positioning with a Piezosurgery Implant Site Preparation Technique and an Intraoral Surgical Navigation System: Case Report. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2017;32(3):e163-5.
16. Bianchi A, Badiali G, Piersanti L, Marchetti C. Computer-assisted piezoelectric surgery: a navigated approach toward performance of craniomaxillofacial osteotomies. *J Craniofac Surg*. mai 2015;26(3):867-72.
17. D GT, Saxena P, Gupta S. Static vs. dynamic navigation for endodontic microsurgery - A comparative review. *J Oral Biol Craniofacial Res*. 2022;12(4):410-2.
18. Zubizarreta-Macho Á, Castillo-Amature C, Montiel-Company JM, Mena-Álvarez J. Efficacy of Computer-Aided Static Navigation Technique on the Accuracy of Endodontic Microsurgery. A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 15 janv 2021;10(2):313.
19. Lin HH, Lo LJ. Three-dimensional computer-assisted surgical simulation and intraoperative navigation in orthognathic surgery: a literature review. *J Formos Med Assoc Taiwan Yi Zhi*. avr 2015;114(4):300-7.
20. Bobek SL. Applications of navigation for orthognathic surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin N Am*. nov 2014;26(4):587-98.
21. Gargallo-Albiol J, Barootchi S, Salomó-Coll O, Wang HL. Advantages and disadvantages of implant navigation surgery. A systematic review. *Ann Anat Anat Anz Off Organ Anat Ges*. sept 2019;225:1-10.
22. Davarpanah K, Demurashvili G, Daas M, Rajzbaum P, Capelle-Ouadah N, Szmukler-Moncler S, et al. [Computer-assisted implantology]. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*. sept 2012;113(4):259-75.
23. Teixeira KN, Sakurada MA, Philippi AG, Gonçalves TMSV. Use of a stackable surgical guide to improve the accuracy of the lateral wall approach for sinus grafting in the presence of a sinus septum. *Int J Oral Maxillofac Surg*. oct 2021;50(10):1383-5.
24. Su CY, Fu JH, Wang HL. The Role of Implant Position on Long-Term Success. *Clin Adv Periodontics*. août 2014;4(3):187-93.
25. Rathee M, Bhorla M, Tamrakar A. Restoration Driven Implant Placement, Key to Predictable Dental Implant Success: A Review. 1 déc 2013;
26. Guentsch A, Sukhtankar L, An H, Luepke PG. Precision and trueness of implant placement with and without static surgical guides: An in vitro study. *J Prosthet Dent*. sept 2021;126(3):398-404.
27. Vermeulen J. The Accuracy of Implant Placement by Experienced Surgeons: Guided vs Freehand Approach in a Simulated Plastic Model. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2017;32(3):617-24.
28. Aydemir CA, Arisan V. Accuracy of dental implant placement via dynamic navigation or the freehand method: A split-mouth randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res*. mars 2020;31(3):255-63.

29. Chen CK, Yuh DY, Huang RY, Fu E, Tsai CF, Chiang CY. Accuracy of Implant Placement with a Navigation System, a Laboratory Guide, and Freehand Drilling. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2018;33(6):1213-8.
30. 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. *Clin Oral Investig*. mai 2021;25(5):2479-94.
31. Block MS, Emery RW, Lank K, Ryan J. Implant Placement Accuracy Using Dynamic Navigation. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2017;32(1):92-9.
32. Block MS, Emery RW, Cullum DR, Sheikh A. Implant Placement Is More Accurate Using Dynamic Navigation. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. juill 2017;75(7):1377-86.
33. Sun TM, Lan TH, Pan CY, Lee HE. Dental implant navigation system guide the surgery future. *Kaohsiung J Med Sci*. janv 2018;34(1):56-64.
34. Kang SH, Lee JW, Lim SH, Kim YH, Kim MK. Verification of the usability of a navigation method in dental implant surgery: in vitro comparison with the stereolithographic surgical guide template method. *J Cranio-Maxillo-fac Surg Off Publ Eur Assoc Cranio-Maxillo-fac Surg*. oct 2014;42(7):1530-5.
35. Emery RW, Korj O, Agarwal R. A Review of In-Office Dynamic Image Navigation for Extraction of Complex Mandibular Third Molars. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. août 2017;75(8):1591-600.
36. Block MS, Emery RW. Static or Dynamic Navigation for Implant Placement-Choosing the Method of Guidance. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. févr 2016;74(2):269-77.

Le système Navident® et la chirurgie naviguée en implantologie orale  
**Axel SACEPE.** – p. 72 : ill. 33 ; ref. 36.

**Domaines** : Implantologie ; Chirurgie Buccale

**Mots clés Libres** : Navigation chirurgicale ; Chirurgie implantaire ; Implant dentaire

### **Résumé de la thèse en français**

Actuellement, les techniques implantaires exigent une planification minutieuse, que ce soit à l'aide d'un guide chirurgical ou en utilisant la technique à main levée, afin de positionner l'implant dentaire dans la situation souhaitée. Le système Navident® se propose comme une alternative récente encore méconnue offrant une assistance en temps réel grâce à la technique de navigation chirurgicale.

L'objectif de cette thèse est de présenter ce système, d'en comprendre son principe de fonctionnement, ses caractéristiques ainsi que ses indications, mais aussi ses avantages et inconvénients afin de déterminer dans quelle situation son utilisation est la plus adaptée.

### **JURY** :

**Président** : Professeur Thomas COLARD

**Assesseurs** : Docteur Mathilde SAVIGNAT

Docteur François BOSCHIN

Docteur JordanQUERTAINMONT