

UNIVERSITE DE NANTES
UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2008

Thèse n° : 44

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

Présentée et soutenue publiquement le mardi 09 décembre 2008 par :

Monsieur Nicolas PILON

Né le 12 décembre 1982

APPORT DE L'INFORMATIQUE
EN IMPLANTOLOGIE BUCCALE :
- PHASE PRE-CHIRURGICALE
- PHASE CHIRURGICALE

JURY

Président : Monsieur le Professeur Alain JEAN
Assesseurs : Monsieur le Docteur Afchine SAFFARZADEH
Monsieur le Docteur Sylvain LEBORGNE
Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Alain HOORNAERT

Par délibération en date du 6 décembre 1972, le conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'il n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.

Table des matières

Introduction.....	7
1. Rappels.....	8
1.1 Historique de l'implantologie : d'hier à aujourd'hui	8
1.2 Le bilan pré-implantaire	11
1.2.1 Le bilan médical.....	12
1.2.1.1 <i>Le bilan général</i>	12
1.2.1.2 <i>Le bilan local</i>	13
1.2.1.2.1 Le bilan prothétique et occlusal.....	13
1.2.1.2.2 Le bilan parodontal et esthétique.....	14
1.2.2 Le bilan radiologique.....	15
1.2.2.1 <i>Le cliché rétro-alvéolaire</i>	16
1.2.2.2 <i>L'orthopantomogramme</i>	16
1.2.2.3 <i>Le scanora (tomographie spiralée)</i>	17
1.2.2.4 <i>La tomodensitométrie (scanner)</i>	17
1.2.2.5 <i>Le Cone Beam</i>	19
1.2.2.6 <i>Le scanner assisté par ordinateur</i>	20
1.2.2.7 <i>Tableau récapitulatif de l'irradiation et du coup des techniques d'imagerie utilisées en implantologie</i>	21
1.3 L'anatomie en implantologie.....	22
1.3.1 Le maxillaire	22
1.3.1.1 <i>Les fosses nasales</i>	23
1.3.1.1.1 Généralités et définitions	23
1.3.1.1.2 Danger en implantologie	23
1.3.1.2 <i>Le canal naso-palatin antérieur</i>	23
1.3.1.2.1 Généralités et définitions	23
1.3.1.2.2 Danger en implantologie	23
1.3.1.3 <i>Les sinus maxillaires</i>	24
1.3.1.3.1 Généralités et définitions	24
1.3.1.3.2 Danger en implantologie	24
1.3.1.4 <i>Les fosses infra-temporales</i>	25
1.3.1.4.1 Généralités et définitions	25
1.3.1.4.2 Danger en implantologie	25
1.3.2 La mandibule.....	26
1.3.2.1 <i>La branche horizontale et le canal dentaire inférieur</i>	26
1.3.2.1.1 Généralités et définitions	26
1.3.2.1.2 Danger en implantologie	27
1.3.2.2 <i>La loge sous-mandibulaire</i>	27
1.3.2.2.1 Généralités et définitions	27
1.3.2.2.2 Danger en implantologie	27
1.3.2.3 <i>La symphyse mentonnière</i>	27
1.3.2.3.1 Généralités et définitions	27
1.3.2.3.2 Danger en implantologie	28
1.3.2.4 <i>L'angle mandibulaire</i>	28
1.4 Implantologie et mise en charge immédiate.....	28
1.5 Principes des différents systèmes de l'implantologie assistée par ordinateur	31
1.5.1 Systèmes actifs : la robotisation.....	31
1.5.2 Systèmes semi-actifs : les guides chirurgicaux.....	32

1.5.3	Systèmes passifs : la navigation chirurgicale.....	32
2.	Les systèmes semi-actifs : avec utilisation de guides chirurgicaux	33
2.1.	Phase préchirurgicale	33
2.1.1.	Intérêts	33
2.1.2.	Pré requis et principes communs.....	33
2.1.3.	Fonctionnalités des logiciels de planification	34
2.1.3.1.	Mesures	34
2.1.3.2.	Evaluation de la densité osseuse	35
2.1.3.3.	Reconstruction en 3 dimensions	35
2.1.3.4.	Visualisation d'éléments anatomiques.....	36
2.1.3.5.	Jeu des masques	36
2.1.3.6.	Positionnement d'implant	37
2.1.4.	Procera® NobelGuide®	37
2.1.4.1.	Enregistrement sur le logiciel Procera®.....	37
2.1.4.2.	Les modèles d'étude.....	37
2.1.4.3.	Le guide radiologique.....	38
2.1.4.4.	L'examen radiologique	40
2.1.4.5.	La planification à l'aide du logiciel Procera®.....	41
2.1.4.6.	Le guide chirurgical	43
2.1.5.	Materialise® Siplant®.....	47
2.1.5.1.	Le guide radiologique.....	47
2.1.5.2.	Le protocole de scanner.....	48
2.1.5.3.	La planification à l'aide du logiciel Siplant®.....	50
2.1.6.	CAD Implant®.....	52
2.1.6.1.	Le guide radiologique.....	52
2.1.6.2.	La planification	53
2.1.7.	Comparaison des systèmes	54
2.2.	Phase chirurgicale	54
2.2.1.	Procera® NobelGuide®	54
2.2.2.	Materialise® Siplant®.....	57
2.2.2.1.	La confection du SurgiGuide®.....	57
2.2.2.1.1.	SurgiGuide® à appui muqueux.....	57
2.2.2.1.2.	SurgiGuide® à appui osseux.....	58
2.2.2.1.3.	SurgiGuide® à appui dentaire	60
2.2.2.2.	SAFE System®.....	60
2.2.2.2.1.	Plan de traitement	61
2.2.2.2.2.	Phase pré-opératoire	61
2.2.2.2.3.	Phase chirurgicale.....	61
2.2.3.	CAD Implant®.....	62
2.2.3.1.	La confection du guide chirurgical	62
2.2.3.2.	Phase opératoire	63
2.2.4.	Comparaison des guides chirurgicaux.....	64
2.2.5.	Résultats.....	65
2.2.5.1.	NobelGuide®	65
2.2.5.1.1.	Descriptif.....	65
2.2.5.1.2.	Résultats.....	66
2.2.5.1.2.1.	La planification.....	66
2.2.5.1.2.2.	Complications chirurgicales per-opératoires.....	66
2.2.5.1.2.3.	Complications chirurgicales post-opératoires	66

2.2.5.1.2.4.	Complications prothétiques précoces	67
2.2.5.1.2.5.	Complications prothétiques tardives.....	67
2.2.5.1.3.	<i>Discussion</i>	67
2.2.5.2.	<i>Materialise® Simplant®</i>	68
2.2.5.2.1.	<i>Descriptif</i>	68
2.2.5.2.2.	<i>Phase chirurgicale</i>	69
2.2.5.2.3.	<i>Résultats</i>	69
2.2.5.2.4.	<i>Discussion</i>	71
2.2.5.3.	<i>CAD Implant®</i>	72
2.2.5.3.1.	<i>Descriptif</i>	72
2.2.5.3.2.	<i>Analyse statistique</i>	72
2.2.5.3.2.1.	Le nombre et la position des implants	73
2.2.5.3.2.2.	La longueur et le diamètre des implants	73
2.2.5.3.2.3.	Les complications anatomiques.....	74
2.2.5.3.3.	<i>Discussion</i>	74
2.3.	<i>Discussion</i>	75
2.3.1.	Avantages.....	75
2.3.2.	Inconvénients	76
2.3.3.	Indications.....	77
2.3.4.	La mise en charge immédiate	77
2.3.4.1.	<i>Etude de la mise en charge immédiate d'implants posés sur des arcades maxillaires édentées totalement</i>	78
2.3.4.1.1.	<i>Descriptif</i>	78
2.3.4.1.2.	<i>Résultats</i>	79
2.3.4.1.3.	<i>Résultats d'études similaires</i>	80
2.3.4.1.4.	<i>Discussion</i>	81
2.3.4.2.	<i>Comparaison entre mise en charge immédiate, précoce et conventionnelle.</i>	81
2.3.4.2.1.	<i>Descriptif</i>	81
2.3.4.2.2.	<i>Résultats</i>	82
2.3.4.2.3.	<i>Discussion</i>	83
2.3.4.3.	<i>Conclusions</i>	83
3.	Le point sur les autres systèmes	84
3.1.	La navigation chirurgicale	84
3.1.1.	Principes techniques	84
3.1.2.	Le système Robodent®.....	86
3.1.2.1.	<i>La gouttière radiographique</i>	86
3.1.2.2.	<i>Acquisition tomodensitométrie</i>	86
3.1.2.3.	<i>Enregistrement et transfert des données</i>	86
3.1.2.4.	<i>La planification informatique</i>	86
3.1.2.5.	<i>La navigation chirurgicale</i>	87
3.1.2.5.1.	<i>Le matériel</i>	87
3.1.2.5.2.	<i>Le procédé</i>	87
3.1.3.	Conclusions.....	88
3.2.	La robotique.....	89
3.2.1.	La simulation.....	90
3.2.2.	Le diagnostic	90
3.2.3.	Le repérage.....	90
3.2.4.	La chirurgie robotisée	90
3.2.4.1.	<i>La télémanipulation</i>	90

3.2.4.2.	<i>Les robots préprogrammés</i>	91
3.2.5.	Conclusions	91
3.3.	Comparaison des systèmes	92
3.3.1.	Etude de Jörg Ruppin et coll en 2006.....	92
3.3.1.1.	<i>Descriptif</i>	92
3.3.1.2.	<i>Matériel</i>	93
3.3.1.2.1.	<i>Simplant Oneshot®</i>	93
3.3.1.2.2.	<i>Artma Virtual Patient® software et Robodent LapDoc Accedo®</i>	93
3.3.1.3.	<i>Résultats</i>	94
3.3.1.3.1.	<i>Simplant Oneshot®</i>	94
3.3.1.3.2.	<i>Robodent LapDoc Accedo®</i>	95
3.3.1.3.3.	<i>Artma Virtual Patient® software</i>	95
3.3.1.4.	<i>Discussion</i>	95
3.3.2.	Etude de Mischkowski et coll. en 2006.....	97
	Conclusion	99
	Bibliographie.....	101
	Table des illustrations.....	109
	Table des tableaux.....	111
	Table des abréviations.....	112

Introduction

L'implantologie occupe aujourd'hui une place importante dans la pratique courante de l'odontologie. Si bien que cette discipline est devenue une modalité de routine dans bon nombre de plans de traitement nécessitant le remplacement d'éléments dentaires.

Historiquement une approche en deux temps était nécessaire avec tout d'abord :

- Une phase de pose d'implant suivi d'une période de cicatrisation qui diffère selon les cas (en fonction de l'arcade, de la quantité et de la qualité du tissu osseux rencontré).
- Une deuxième phase prothétique de mise en charge des implants.

Les techniques d'imagerie étaient quant à elles classiquement basées sur une visualisation en 2 dimensions (2D) des structures anatomiques. Cela est effectivement suffisant dans la plupart des cas simples, mais peut s'avérer insuffisant dans des cas plus complexes : une déhiscence osseuse non diagnostiquée par l'imagerie en 2D peut obliger le chirurgien à modifier l'axe, le diamètre ou la longueur d'un implant et ainsi compromettre les impératifs mécaniques ou esthétiques.

Depuis les années 90, l'apport de l'informatique en odontologie et plus précisément en implantologie a grandement aidé le praticien lors des phases pré-chirurgicale, chirurgicale et prothétique :

- Le diagnostic : l'imagerie assistée par ordinateur va permettre la réalisation de reconstructions en 3 dimensions (3D) permettant une analyse beaucoup plus précise des structures anatomiques du patient (nerf, dents adjacentes, sinus...).
- La planification : certains logiciels vont permettre de planifier un plan de traitement (positionnement, nombre, longueur et axe des implants) et de le simuler sur écran informatique.
- L'aide opératoire : lors de la phase chirurgicale, le praticien peut utiliser différents procédés afin de guider son geste opératoire. Les guides chirurgicaux fabriqués à l'aide de logiciels informatiques vont le guider physiquement. D'autres systèmes comme la navigation vont quant à eux guider virtuellement le praticien en lui laissant le contrôle du geste.

Et enfin la robotisation va permettre de programmer un acte qui pourra être contrôlé mais non réalisé par la main du chirurgien.

- La réalisation prothétique : certains logiciels vont permettre la réalisation de prothèses avant même que la phase chirurgicale de pose des implants ai été effectuée.

Le but de ce travail est donc d'expliquer en quoi l'apport de l'informatique peut aider le chirurgien dans la thérapeutique implantaire lors de la phase pré-chirurgicale de planification et lors de la phase chirurgicale de pose d'implants. Nous nous consacrerons tout d'abord en grande partie aux techniques utilisant des guides chirurgicaux en décrivant leur fonctionnement, avantages et inconvénients. Puis nous évaluerons les résultats cliniques que nous pouvons obtenir avec de tels systèmes pour la pose d'implant. Sachant que ces systèmes sont très souvent destinés à la pose d'une prothèse le jour même de la chirurgie, nous feront également le point sur les résultats obtenus avec les techniques de mise en charge immédiate. Et enfin nous parlerons également des autres dispositifs d'aide à la chirurgie que sont la navigation et la robotisation.

1. Rappels

1.1 Historique de l'implantologie : d'hier à aujourd'hui

C'est certainement au 20^{ième} siècle que les plus grandes avancées en terme de réhabilitation dentaire ont été réalisées : et cela grâce, entres autres, à l'évolution des matériaux ainsi que des techniques d'imagerie. Il ne faut tout de même pas oublier que même si aujourd'hui l'implantologie trouve une place centrale à grand nombre de plans de traitement de sites édentés, elle reste une science qui a connu ses premiers balbutiements dans l'Egypte ancienne, voire même au néolithique (13). En effet, on a répertorié un crâne trouvé près de Constantine en 1954 présentant une pseudo prothèse réalisée à partir d'une phalange humaine (28). La datation effectuée au carbone 14 ne laisse aucun doute quant à l'âge de ce crâne : il date de près de 7000 ans. Cette prothèse fut réalisée très certainement post-mortem, mais ce qui est sûr, c'est que cet implant osseux était très solidement fixé au maxillaire que ce soit par ostéogénèse ou ankylose, ce qui peut paraître contradictoire (28).

Chronologiquement, on répertorie des exemples égyptiens (encore une fois sans preuves irréfutables), phéniciens, grecs (utilisation de fils de ligature), étrusques, arabes

(ligature avec un fil d'or ou d'argent). On signale même à l'ère précolombienne le remplacement d'une dent par une pierre noire sans soutien autre que la rétention alvéolaire, et ce du vivant de la personne (28).

Ensuite à la Renaissance, les techniques de réimplantation et de transplantation seront beaucoup plus prisées (pour ne citer que lui, Amboise Paré (1517-1590) décrit ses méthodes dans plusieurs récits en 1560, 1575, 1582 (28)).

Au 18^{ième} siècle, Pierre Fauchard (1678-1761) et John Hunter s'illustreront également sur les techniques de réimplantation.

C'est au 19^{ième} siècle, que Younger pratiquera la première vraie réimplantation. D'autres matériaux seront également utilisés en guise d'implants : divers métaux, porcelaine, plaque de métal inoxydable, racine en plâtre recouverte de plomb... mais sans grand succès (28).

Ce n'est qu'à partir du 20^{ième} siècle que les premiers résultats probants commenceront à arriver. Les matériaux moins nobles disparaîtront au profit de l'or, du platine, de l'ivoire. En 1920, Léger-Dorez confectionne un implant à racine extensible (tube en or). Manlio Formiggini (38) créera en 1947 un implant sous forme de vis en acier inoxydable vide intérieurement. Cherchève de Paris s'inspirant des travaux de Formiggini réalise quant à lui un implant en double spirale hélicoïdale dès 1962 en cobalt chrome dans un premier temps puis en titane (28).

On compte alors de nombreux types d'implants de formes diverses : vissés non enfouis, aiguilles, cylindriques enfouis, lames... Mais c'est le Pr. Per-Ingvar Branemark en Suède en 1969 qui permettra à l'implantologie moderne de marquer une page : l'ostéo-intégration. Comme bon nombre de grandes découvertes, elle fut fortuite. En effet, Branemark voulait à la base étudier la micro-circulation de la moelle osseuse à l'aide d'une chambre optique en forme de vis faite à base de titane pur insérée dans un tibia de lapin. Les principes d'asepsie, d'échauffement minimal lors du forage, ainsi que l'utilisation d'un matériau biocompatible (titane pur avec sa couche d'oxyde) étaient déjà de rigueur.

C'est après avoir effectué ses observations de la moelle qu'il remarqua qu'il lui était impossible de retirer sa chambre optique sans fracturer l'os. Il venait sans le vouloir de découvrir le principe de l'ostéo-intégration (70).

C'est indéniablement l'imagerie qui a permis à l'implantologie de progresser depuis des années. Rappelons tout de même que son utilisation n'est pas si récente que cela en odontologie. En effet dès 1895, Roentgen découvre les rayons X, ce qui aboutira à la première radiographie. C'est Walkhoff qui appliquera ce principe à l'odontologie pour

réaliser le premier cliché radiographique dentaire. A partir de ce moment la recherche de nouvelles techniques en la matière ne va jamais s'arrêter. L'avantage qu'octroie ce procédé est révolutionnaire pour l'époque, cela permet de poser un diagnostic en évaluant des structures anatomiques de façon atraumatique (sans considérer l'irradiation induite). Puis c'est en 1922 que Bocage déposera un brevet sur une technique d'imagerie sectionnelle que l'on retrouve aujourd'hui sous le nom de tomographie. Plus tard en 1950 Patero appliquera ce procédé à notre discipline pour aboutir au cliché panoramique dentaire (13).

L'apparition du scanner, présenté pour la première fois par Hounsfield en 1972, permettra une nouvelle fois de révolutionner les concepts de l'implantologie (51). Cette technique va donc progressivement susciter l'intérêt des implantologistes pour la précision des données qu'elle offre sur les mesures des sites implantaires. L'optimisation de ces techniques autorisera par la suite à coupler les données numériques recueillies par le scanner à un ordinateur (données enregistrées sous le format DICOM: Digital Imaging For Communication in Medicine) et de faire des reconstructions à taille réelle. La progression spectaculaire des techniques d'imagerie et de l'informatique ces dernières années permettront l'apparition de l'implantologie assistée par ordinateur (Computed Tomography scan) qui habilite enfin réellement le chirurgien à visualiser l'anatomie osseuse (34). Utilisé depuis 1973 leur application dentaire (Dentascan) ne sera connu qu'à partir de 1987 (55). Les logiciels de planification apparaîtront dans le milieu des années 1990 et permettront donc de simplifier l'approche thérapeutique du chirurgien par le biais de guides pré-implantaires jusqu'à la réalisation complète du projet prothétique avec une mise en charge immédiate (70).

Autre innovation en la matière, la navigation chirurgicale. Depuis son introduction en neurochirurgie en 1986 (35), son domaine d'application n'a cessé de s'élargir : traumatologie, chirurgie reconstructrice, et implantologie dentaire. Cette technique est tout simplement révolutionnaire : tel un GPS équipant les automobiles actuelles, elle permet au chirurgien d'être guidé en temps réel en 3D durant la phase chirurgicale par un système de capteurs infrarouges, tout en laissant le praticien entièrement libre de ses mouvements (55).

Et enfin la dernière technique appliquée à l'art dentaire provient tout droit de la robotique. Cette technique a déjà quelques années derrière elle puisque sa première apparition date de 1940. Devol qui est considéré comme le père de la robotique développe alors un procédé de contrôle magnétique qui peut être utilisé afin d'exploiter les premières machines robotisées. Avec la montée de l'informatique les possibilités sont décuplées et en 1954 Devol met au point un manipulateur à mémoire qui marquera le commencement de la robotique moderne.

La commercialisation de robots pour l'industrie commencera en 1961 par l'entreprise nommée « Unimation » fondée par Engelberger (9).

Depuis lors, ses domaines d'application sont multiples : agriculture, aérospatial, militaire, exploration océanographique, éducation et chirurgie, le domaine qui va nous intéresser. Son adaptation à la neurochirurgie débutera dans les années 1980 et trouvera rapidement une place de choix, étant donné les avantages qu'elle apporte au niveau de l'accessibilité et de la précision (9). Quant à l'odontologie, ou plus précisément à l'implantologie cela se fera quelques années plus tard.

1.2 Le bilan pré-implantaire

Avant toute chose il convient de définir ce que sont les implants. D'après la H.A.S. 2008 (haute autorité de santé), leur définition est la suivante : « Les implants sont des dispositifs destinés à créer au maxillaire ou à la mandibule des ancrages stables, résistants, efficaces, non iatrogènes, durables, sur lesquels s'adapte une prothèse amovible ou fixée en vue de redonner au patient partiellement ou complètement édenté, une fonction adéquate, un confort satisfaisant et une esthétique compatible avec toute fonction sociale (32)».

Les protocoles de ces traitements ainsi que les exigences sur leur résultats (comme en témoigne la définition de la H.A.S. 2008) ont pu largement évoluer ces dernières années et notamment avec l'apport de l'outil informatique. Il n'en reste pas moins que l'étude pré-implantaire demeure l'étape la plus importante à toute prise en charge. Elle permettra de déterminer les patients à risque, les contre-indications et d'aboutir à un plan de traitement cohérent et raisonné. Cette analyse est guidée par des impératifs biologiques, biomécaniques et anatomiques :

- le risque biologique : il est dû à la présence de la flore bactérienne péri-implantaire pouvant être responsable d'une péri-implantite.
- Le risque biomécanique : il va être lié aux forces occlusales mises en jeu sur les implants que ce soit au niveau de leur intensité, de leur durée d'application ou encore de leur axe.
- Le risque anatomique : le bilan radiologique indispensable, prend alors ici tout son sens. Il permettra d'évaluer au mieux les sites d'implantation et d'éviter les obstacles anatomiques comme le nerf dentaire inférieur et le sinus maxillaire pour ne citer qu'eux.

On peut donc dissocier ce bilan en deux grandes phases :

1.2.1 Le bilan médical

L'anamnèse médicale générale ainsi que le bilan local permettront de mettre en évidence toute pathologie interférant ou contre-indiquant le projet implantaire.

1.2.1.1 Le bilan général

L'interrogatoire réalisé au cours de la première consultation permettra de mettre en évidence les situations de contre-indications, absolues ou relatives, à toute chirurgie implantaire.

○ contre-indications absolues (14) (20) :

- contre-indication absolue à la chirurgie.
- risque d'endocardite infectieuse.
- infarctus récent du myocarde.
- accident vasculaire cérébral.
- insuffisance rénale sévère.
- chimiothérapie anticancéreuse, ou radiothérapie en cours.
- SIDA (CD4 < 200 mm3).
- pathologie psychiatrique instable.
- bifosphonates administrés en intra-veineux.
- ostéoporose secondaire généralisée.
- hypothyroïdie.

○ contre-indications relatives (14) (20) :

- thérapeutiques anti-coagulantes et anti-agrégantes.
- pathologies cardio-vasculaires : infarctus non récent, troubles du rythme...
- diabète : malgré de nombreuses études, il n'y a toujours pas de lien avéré entre la présence du diabète et l'échec thérapeutique.
- L'âge.

- Toute pathologie aiguë non stabilisée et non traitée.
- La consommation de tabac (supérieur ou égale à 5 cigarettes par jour).
- Hygiène buccale.
- Le manque de compréhension ou de motivation vis à vis du traitement.

En l'absence de ces contre-indications, les examens ainsi que les bilans seront poursuivis : certains examens sanguins complémentaires peuvent être recommandés, comme une numération de formule sanguine, un bilan de coagulation, la vitesse de sédimentation (pour les troubles immunitaires), la glycémie (chez les diabétiques), la créatinémie et enfin un bilan phosphocalcique chez la personne âgée.

1.2.1.2 Le bilan local

L'analyse clinique reste un pré-requis à tout traitement dentaire. Dans le cadre d'une thérapeutique implantaire, nous l'étudierons sous deux plans : prothétique et occlusal ; parodontal et esthétique.

1.2.1.2.1 Le bilan prothétique et occlusal

Dans un premier temps il faudra vérifier la présence ou non d'un dysfonctionnement de l'appareil manducateur (douleurs, bruits, spasmes, acouphènes, bruxisme, troubles de la mobilité mandibulaire). Puis nous analyserons les paramètres de l'occlusion :

- le choix de la position de référence, Occlusion d'Intercuspidie Maximale ou Occlusion de Relation Centrée, en fonction du décalage présent entre ces deux positions.
- la dimension verticale
- le plan d'occlusion : problème des dents égressées
- les courbes de Spee et de Wilson
- les guidages fonctionnels

Il faudra ensuite prendre en compte l'espace prothétique résiduel ainsi que le type d'édentement présent pour prévoir le nombre et le type d'implants nécessaires à la réhabilitation. Nous terminerons par une analyse occlusale qui permettra de mettre en

évidence les malpositions occlusales, les obstacles sur les chemins d'ouverture et de fermeture pour prévoir les étapes d'équilibration ainsi que la réalisation des prothèses provisoires (20).

1.2.1.2.2 Le bilan parodontal et esthétique

Le premier élément à prendre en compte est l'histoire médicale du patient. Cela permettra de déterminer s'il s'agit d'un patient à risque ou non (antécédents, prédisposition aux maladies parodontales). Le contrôle de plaque constitue un élément fondamental d'autant plus en implantologie que pour toute autre discipline pour prévenir tout risque de péri-implantite. Le rétablissement d'une bonne hygiène ainsi que l'arrêt de tout état infectieux est donc un préalable au traitement implantaire. Des examens complémentaires peuvent également être réalisés pour affiner le diagnostic de maladie parodontale (20) :

- examens bactériologiques : culture, sonde ADN
- tests enzymatiques : peu fréquents en France pour cause de moyens.

La classification de Miller de 1985 permet à ce titre de déterminer la qualité du parodonte superficiel et profond et ainsi d'évaluer les thérapeutiques envisageables en fonction du degré de récession et de l'atteinte osseuse. Elle se divise donc en quatre classes :

- Classe I : La récession n'atteint pas la ligne muco-gingivale et il n'y a pas de perte interdentaire.
- Classe II : La récession atteint ou dépasse la ligne muco-gingivale (Figure 1) sans perte interdentaire.
- Classe III : La récession atteint ou dépasse la ligne muco-gingivale (Figure 1), est associée à une perte d'attache proximale coronaire à la base de la dénudation Elle est souvent due à une parodontite.
- Classe IV : La dénudation radiculaire concerne plusieurs faces de la dent, la récession étant très importante. Il y a mise à nu radiculaire après parodontite ou son traitement ; le recouvrement est alors impossible.

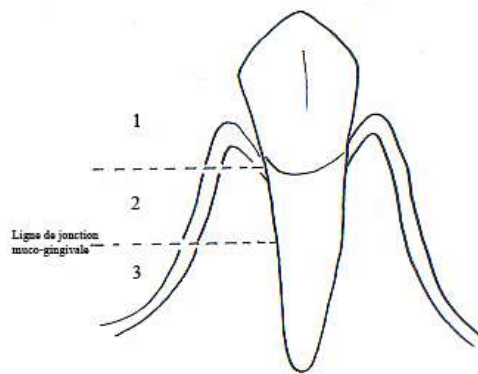


Figure 1 : 1 délimitation de la gencive marginale ; 2 délimitation de la gencive adhérente ; 3 délimitation de la muqueuse libre.

Cette classification ne prend pas en compte les mobilités dentaires, mais elles devront également être évaluées aussi bien sur la dent concernée que sur les dents adjacentes afin de déterminer la valeur intrinsèque de chaque organe dentaire présent. Et enfin l'analyse du tissu osseux résiduel permettra de déterminer le volume et la qualité osseuse disponible. Dans un premier temps, la palpation digitale pourra donner une idée de l'épaisseur de la crête osseuse, mais c'est évidemment les techniques d'imagerie qui nous donneront ces informations avec une plus grande précision.

En ce qui concerne l'esthétique, cela commencera par l'observation du visage, des paramètres dentaires et gingivaux. La ligne du sourire devra bien évidemment être intégrée à la réhabilitation implanto-prothétique. Il faudra ensuite essayer de prévisualiser le résultat probable en anticipant les différences d'intégration osseuse et gingivale des implants face aux dents résiduelles (20).

1.2.2 Le bilan radiologique

Sur le plan législatif, le bilan radiologique est obligatoire pour poser l'indication de l'implant (3). Il reste indispensable pour :

- l'évaluation de la quantité et de la qualité osseuse, l'analyse des anatomies osseuses atypiques (crêtes en lames de couteau...)
- décider de la nécessité d'une greffe osseuse
- localiser avec précision les obstacles anatomiques
- l'évaluation à court, moyen et long termes des résultats cliniques

Plusieurs techniques d'imagerie sont à la disposition du praticien.

1.2.2.1 Le cliché rétro-alvéolaire

- Réalisé en première intention en cas d'édentement unitaire. Il reste bien évidemment un examen insuffisant à lui seul pour envisager la pose d'un implant. Il peut également être utilisé en per-opératoire ou post-opératoire pour vérifier le bon positionnement d'un implant (20).
- Il est réalisé de manière analogique (argentique) ou numérique. A l'heure actuelle la radiologie numérique a fait d'énormes progrès pour rattraper la qualité du film argentique tout en diminuant l'irradiation induite par cliché. Son archivage informatique est également plus aisé et moins encombrant.

1.2.2.2 L'orthopantomogramme

- Relativement peu onéreux, il permet en un seul cliché d'obtenir une vision globale des deux arcades dentaires par rotation d'un côté à l'autre du visage, c'est pourquoi il est souvent réalisé en première intention.
- Cela permet d'avoir des informations aussi bien sur les structures dentaires, osseuses et anatomiques environnantes.
- Souvent insuffisant pour poser l'indication de la pose d'un implant, il peut néanmoins conduire à l'indication d'un examen plus précis (imagerie sectionnelle), voire même à contre-indiquer la pose d'implant (20).
- Il demeure cependant de faible précision que ce soit pour des mesures verticales (agrandissement en moyenne de 1,3) ou en diamètre mésio-distal, ou pour apprécier la densité osseuse. En effet, le caractère bidimensionnel de cet examen ne permet pas de discerner des zones à risque, comme par exemple des crêtes en lame de couteau, compte tenu de sa faible capacité à évaluer les densité osseuses.
- L'irradiation occasionnée par cet examen est relativement faible : la dose efficace est de 4 à 30 micro Sievert (Sv).
- Il constitue donc un outil indispensable mais insuffisant dans un grand nombre de cas. C'est pourquoi il est presque toujours associé au cliché rétro alvéolaire qui couplés peuvent être suffisants dans certains cas simples (7).
- De même que le cliché rétro-alvéolaire il peut se réaliser de manière argentique ou numérique.

1.2.2.3 Le scanora (tomographie spiralée)

- Cet instrument autorise non seulement la réalisation de clichés panoramiques de meilleure qualité qu'une radio panoramique standard (le foyer de 0,3mm est deux fois plus fin que celui de la panoramique standard, donc l'image devient deux fois moins floue) mais également la possibilité d'effectuer des coupes transversales au maxillaire et à la mandibule. Ce qui permet d'étudier l'espace disponible pour un implant aussi bien dans le sens mésio-distal que vestibulo-lingual (7) : dimension qui est totalement ignorée par la radiographie panoramique standard.
- Son intérêt face au scanner réside en sa rapidité d'exécution ainsi qu'en son prix de revient moins élevé. Mais il reste bien évidemment moins précis que ce dernier que ce soit au niveau du taux de contraste ou de la localisation précise des coupes. Tout comme le cliché panoramique standard, il subit un agrandissement en hauteur de 1,3 à 1,7. Et enfin, la thyroïde ainsi que l'œil demeurent dans le champ d'irradiation.
- Son utilisation se limitera donc aux édentements antérieurs ne dépassant pas la pose de quatre implants. On lui préférera le scanner pour tous les cas plus complexes (7).

1.2.2.4 La tomodensitométrie (scanner)

- La scanographie est devenue au fil du temps un examen de plus en plus utilisé en odontologie et n'est donc plus réservée aux pathologies lourdes. Elle est utilisée en endodontie, parodontie, orthodontie, mais c'est en implantologie que la tomodensitométrie trouve son indication la plus valable.
- Cet examen réalise donc une imagerie en coupe grâce au tube à rayons X qui pivote autour du patient allongé. Il comprend donc des coupes axiales (occlusales) tous les 0,5mm (voire 0,3mm), des reconstructions coronales qui restent toujours perpendiculaires aux arcades ainsi que des reconstructions panoramiques parallèles à ces mêmes arcades espacées de 1 à 2mm (Figure 2). Des reconstructions en 3D peuvent donc ensuite être réalisées à partir de ces trois types de données (7).

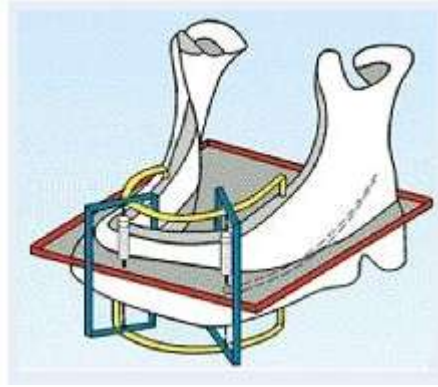


Figure 2 : Schéma d'une mandibule avec les 3 plans de coupe du scanner : plan axial en rouge, plan coronal en bleu et plan panoramique en jaune (7).

- En ce qui concerne l'irradiation causée par un scanner dentaire, bien qu'elle soit de plus en plus optimisée, elle reste bien supérieure à celle des autres techniques. Notons également que la thyroïde ainsi que les yeux ne sont presque pas irradiés avec l'utilisation d'un tel cliché.
- Le scanner n'est pas obligatoire en soi, mais fortement recommandé pour les cas complexes. Il permet en effet de bien mieux visualiser les sites implantaire, les obstacles anatomiques tels le nerf alvéolaire inférieur, le foramen mentonnier ou encore les sinus maxillaires. Un autre atout de taille est sa capacité à évaluer l'épaisseur des crêtes osseuses dans le sens vestibulo-lingual avec un contraste et une qualité bien supérieurs au scanora. Cela permet donc en somme de mieux prévoir le nombre et type d'implants nécessaires à la réhabilitation. En cas de greffe osseuse, il reste aujourd'hui indispensable.
- Les inconvénients de cette technique résident principalement en l'obtention d'artéfacts qu'ils soient dûs aux mouvements du patient lors de l'enregistrement (de moins en moins fréquents car les temps d'exposition ne cessent de diminuer avec l'évolution du matériel : 10 à 15 minutes d'acquisition en 1988 contre 5 à 10 secondes aujourd'hui), ou dus à la présence de corps métalliques dans le rayon d'action. Reste également la difficulté à obtenir des images sans déformations. Car en effet tout cela va dépendre de la première coupe de référence effectuée (encore appelée « scout ») qui doit être parallèle au plan d'occlusion. Si ce n'est pas le cas les plans de coupes suivants réalisés perpendiculairement à ce scout donneront des images biaisées par rapport à la réalité (en agrandissement ou en rétrécissement) sans que l'opérateur ne puisse s'en rendre compte.

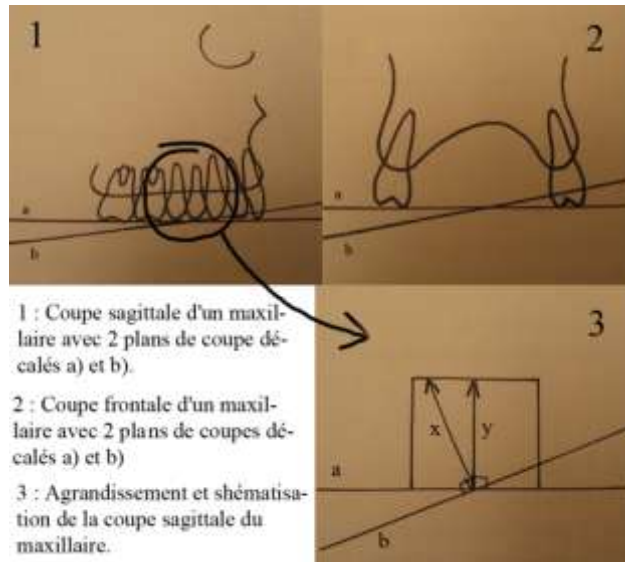


Figure 3 : Schémas explicatif des erreurs d'agrandissement ou de rétrécissement, des mesures dues à la déviation du plan scout de référence effectué lors d'un scanner.

On constate (Figure 3) qu'avec un plan scout parallèle au plan d'occlusion (plan a) la mesure effectuée par une coupe coronale (perpendiculaire au plan scout) donne une valeur non déformée (y) alors que la valeur obtenue avec un scout non parallèle au plan d'occlusion (plan b) donne ici une valeur supérieure à la réalité (x) (Figure 3).

- Compte tenu de son irradiation raisonnable ainsi que de ses atouts indéniables en terme de diagnostic et de planification préopératoire, le scanner est sans conteste un examen de référence en la matière.

1.2.2.5 Le Cone Beam

- Différente dans son principe, la tomographie volumique numérisée à faisceau conique (cone beam) se distingue du scanner classique par un faisceau de rayons X pulsé de forme conique, une acquisition des données numérisées en une seule rotation de l'appareil, présentant l'avantage d'une irradiation moindre.
- Le premier appareil fut disponible en 1991 : le NewTom QR-DVT 9000® (QR, Verona, Italie). On en compte à l'heure actuelle bien plus, étant donné le potentiel de cet appareil (13).
- Il permet de réaliser une exploration partielle ou intégrale des arcades dentaires (selon la taille du capteur). Les données recueillies sont ensuite traitées par des algorithmes de reconstruction volumique. Ce qui nous offre un véritable panel de reconstructions :

axiales, coronales, sagittales, panoramiques (2D) et également en 3D (comparables au scanner assisté par ordinateur) (13).

- Les données de certains appareils pourront être également utilisées dans la confection de guides chirurgicaux dans le cadre d'implantologie assistée par ordinateur.
- Comme nous l'avons évoqué précédemment, la dose d'irradiation de cet examen est relativement faible comparée au scanner (de l'ordre de celle occasionnée par un examen de type scanora) au vu des données apportées. Elle se positionne donc comme l'une des techniques sectionnelles la moins irradiante qui respecte les principes de justification et d'optimisation de la radioprotection.
- Sa résolution spatiale est identique voire supérieure à celle du scanner. Ce qui lui permet d'afficher des détails extrêmement fins. Mais, revers de la médaille, son taux de contraste est plus faible que celui du scanner. Et enfin son principal inconvénient vis-à-vis du scanner est son temps d'acquisition qui demande environ 35 secondes (quasi instantané pour le scanner). Ce qui peut entraîner des imprécisions dues aux mouvements involontaires du patient durant ce laps de temps.

1.2.2.6 Le scanner assisté par ordinateur

- Le principe est d'utiliser un logiciel informatique de planification implantaire (il en existe plusieurs modèles sur le marché) couplé aux données recueillies par le scanner pour aider le chirurgien à différents niveaux du plan de traitement. Le chirurgien peut donc utiliser ce système depuis son propre cabinet muni d'un ordinateur équipé de ce logiciel.
- Le premier logiciel conçu pour reformater les images tomographiques axiales date de 1980. Il a été conçu par Rothman et coll et porte le nom de « Dentascan® » (General Electric, Milwaukee, Wis) (63). Aujourd'hui ce nom commercial est devenu générique pour parler d'un scanner qui a été reformaté par un logiciel informatique. Le terme CT scan est également très employé (Computed Tomography).
- Une fois les données acquises au format DICOM, la première étape dont va se charger le logiciel est la segmentation des images. Cela permet de définir les structures anatomiques en leur attribuant un voxel spécifique (un voxel est un pixel en 3D utilisé pour les représentation d'espace en 3D après traitement des coupes en 2D). De ce fait, des tissus différents comme la peau, les os sont facilement identifiables (56).

- Ce logiciel permet donc de faire des simulations pour choisir le type, la longueur, la position et le nombre d'implants nécessaires en fonction du tissu osseux disponible, des contraintes anatomiques et prothétiques. Ce qui permet un positionnement précis des axes prothétiques donnant le sens le plus fonctionnel possible aux implants tout en optimisant l'utilisation du tissu osseux présent (7).
- Le site implantaire choisi sera analysé qualitativement très finement pour trouver la meilleure densité osseuse autour de l'implant après sa pose.
- Enfin ce logiciel permet de préfigurer la future prothèse en intégrant les impératifs de biomécanique implantaire, prothétiques et esthétiques et de réaliser une prothèse provisoire ou définitive prête à être posée le jour de l'implantation.
- Sa simplicité et surtout ses qualités indéniables, font que cette technique est de plus en plus utilisée. Nous décrirons le protocole complet de cette technique plus en détail dans la deuxième partie intitulée « les systèmes semi-actifs ».

1.2.2.7 Tableau récapitulatif de l'irradiation et du coût des techniques d'imagerie utilisées en implantologie

Le tableau ci-dessous récapitule pour les différents types d'examen radiographiques vus précédemment, leur coût ainsi que leur dose d'irradiation.

Type d'examen	Irradiation (en prenant comme référence le cliché panoramique dentaire)	Coût
Tomographie (numérique)	1	34,02 euros
scanora	1,5 à 3	Divergent (jusqu'à 130 euros)
scanner	8 à 20	160 euros pour une arcade et 240 euros pour les 2.
Cone beam	3	90 à 140 euros

Tableau 1 : Tableau récapitulatif du coût et de l'irradiation de des techniques d'imagerie (7).

1.3 L'anatomie en implantologie

La connaissance anatomique en implantologie est primordiale, qu'elle soit assistée ou non par ordinateur. Elle permet de repérer les structures anatomiques adjacentes et d'évaluer les sites implantaire.

Nous nous concentrerons sur les 2 os principaux concernés en implantologie orale, à savoir le maxillaire ainsi que la mandibule.

1.3.1 Le maxillaire

Formé de 2 os symétriques, il occupe les 2/3 de la face supérieure. C'est un os pneumatiqué qui contrairement à la mandibule est relié au crâne sans articulation. On y répertorie 3 zones topographiques potentiellement à risque en implantologie (Figure 4 et 5).

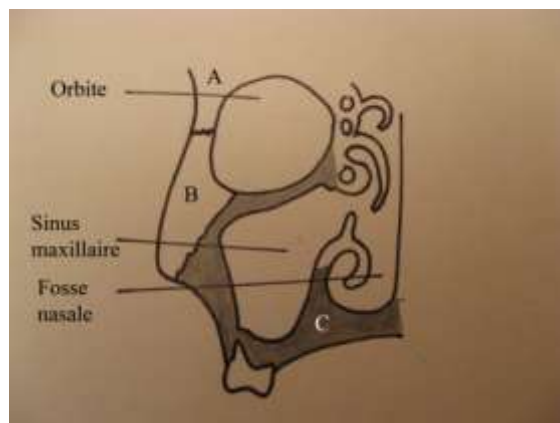


Figure 4 : Coupe frontale de l'hémi face droite avec l'os frontal (A), l'os zygomatique (B) et l'os maxillaire (C).

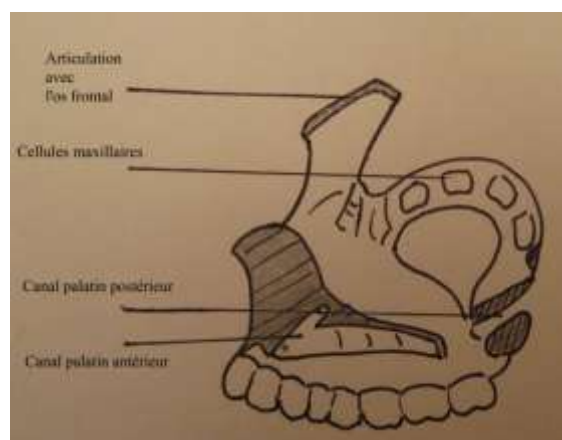


Figure 5 : Vue médiale de l'os maxillaire droit.

1.3.1.1 Les fosses nasales

1.3.1.1.1 Généralités et définitions

Au nombre de deux, elles représentent le premier segment de l'appareil respiratoire et de l'appareil olfactif. Elles sont séparées de la cavité buccale par un plancher représenté par le palais dur et le palais mou. Elles entrent également en relation avec la partie supérieure du pharynx par leurs orifices postérieurs ou encore choanes (29).

1.3.1.1.2 Danger en implantologie

La pénétration de ces fosses lors de l'intervention peut être décelable à l'aide d'un petit instrument comme le speculum nasi. Le risque est d'autant plus important que le site d'intervention se situe au niveau incisif. Il y a alors un risque de saignement nasal ainsi qu'un risque infectieux non négligeable qui peut entraver l'ostéointégration (29).

1.3.1.2 Le canal naso-palatin antérieur

1.3.1.2.1 Généralités et définitions

Il se situe entre les deux incisives centrales au niveau apical de celles-ci. Ce canal tend à se développer d'avantage du côté de l'édentement, ce qui participe à l'atrophie du procès alvéolaire.

1.3.1.2.2 Danger en implantologie

Son effraction n'est pas réellement nuisible étant donné la suppléance postérieure effectuée par l'artère grande palatine. Néanmoins, l'éventualité d'un kyste naso-palatin (fissuraire ou globulo-maxillaire) peut empêcher toute intervention à ce niveau.

1.3.1.3 Les sinus maxillaires

1.3.1.3.1 *Généralités et définitions*

Ils ont la forme d'une pyramide triangulaire. Sa mise en évidence radiographiquement ne peut se faire qu'à partir de 6 ans et il trouvera sa taille définitive vers 18 ans. Il joue un rôle important à la fois pour la croissance du massif facial ainsi que pour l'absorption des ondes de chocs lors des traumatismes (25).

Chez l'adulte, il occupe les 2/3 de l'os maxillaire. Les alvéoles des 1^{ère} et 2^{ème} prémolaires, des 1^{ère} et 2^{ème} molaires y font en général une saillie. On parle de dents antrales. Elles ne laissent alors qu'une faible épaisseur de corticale, voire uniquement la membrane sinusienne, les séparant du sinus maxillaire (qui n'adhère que relativement peu à l'os). A la suite de pertes dentaires, son volume augmente et aggrave donc la perte osseuse due à la résorption de la crête maxillaire. Son volume est très variable selon l'individu, selon l'édentation et selon l'âge (25).

1.3.1.3.2 *Danger en implantologie*

- Perforation et communication

Dans la plupart des cas, la perforation bucco-sinusienne se referme sans problème particulier après retrait de l'instrument. Le praticien doit tout de même vérifier qu'il n'a pas pénétré de manière iatrogène dans le sinus.

La présence de procidence sinusienne demande une vigilance de la part de l'opérateur. Le risque de communication bucco sinusienne (CBS) est réel si l'intervention est pratiquée de manière intempestive ou si l'implant est dans le sinus (29).

- Sinusite chronique

Ce risque ne doit pas être sous-estimé, car la présence d'une fistule microscopique entre l'implant et le sinus peut ne pas être mise en évidence par la radio de contrôle (29).

- Risque vasculaire

Le maxillaire est richement vascularisé par les branches terminales de l'artère maxillaire interne, ce qui explique :

- la présence de profonds oedèmes lors de décollements de lambeaux palatins et vestibulaires
- le risque d'hémorragie lors de la section de l'artère palatine descendante (70)

1.3.1.4 *Les fosses infra-temporales*

1.3.1.4.1 *Généralités et définitions*

Encore appelées espaces ptérygo-maxillaires, elles sont délimitées par (26):

- en avant : la face postérieure de l'os maxillaire au niveau des 2/3 internes (tubérosité maxillaire).
- en haut : la grande aile du sphénoïde.
- en dedans : l'apophyse ptérygoïde du sphénoïde.
- en dehors : le muscle temporal et le zygoma.
- en dehors et en bas : le condyle et le coroné mandibulaire.

Cette fosse contient donc :

- les muscles ptérygoïdiens.
- les vaisseaux maxillaires internes.
- les nerfs mandibulaires et ses branches dont le nerf dentaire inférieur et le nerf lingual.
- Le ganglion sphéno-palatin recevant les fibres nerveuses issues du palais.

1.3.1.4.2 *Danger en implantologie*

○ Risques vasculaires

Ils sont dûs en particulier à la présence de l'artère palatine descendante. En effet, sa branche antérieure vient s'anastomoser au niveau du canal grand palatin. Tandis que sa branche postérieure vient irriguer le voile du palais en partant du canal petit palatin. Avant cela, quelques unes de ses collatérales traversent la voûte osseuse en arrière du canal petit palatin pour irriguer la muqueuse du voile. Le risque de lésion de cette artère est donc à prendre en considération (26).

- Risque nerveux

Le nerf lingual chemine entre l'aponévrose ptérygoïdienne en dedans et le muscle ptérygoïdien latéral en dehors. Puis en face de la dernière molaire, il s'engage sous le ligament ptérygo-mandibulaire dans le plancher buccal (29).

1.3.2 La mandibule

Os impair et symétrique, il est le seul os mobile de la face et constitue à lui seul le massif facial inférieur. Son articulation avec les maxillaires se fait via l'articulation temporo-mandibulaire. Trois régions peuvent comporter des risques en implantologie (Figure 6).

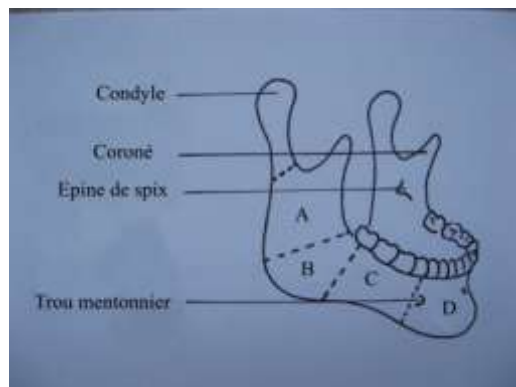


Figure 6 : Schéma d'une mandibule avec ses différentes zones : la branche montante (A), l'angle (B), la branche horizontale (C) et la symphyse mentonnière (D).

1.3.2.1 La branche horizontale et le canal dentaire inférieur

1.3.2.1.1 Généralités et définitions

Le nerf alvéolaire inférieur part de l'épine de spix (ou lingula) au niveau de la branche montante, traverse le corps de la mandibule au niveau de son tiers inférieur (39). D'abord en position linguale, pour devenir de plus en plus vestibulaire au fur et à mesure de son trajet (d'arrière en avant) il sort au foramen mentonnier. Dans 2/3 des cas, il se scinde en deux nerfs : nerf mentonnier et nerf incisif. Dans le dernier 1/3 des cas, sa division se fait dès le début de son trajet en nerf alvéolaire inférieur et nerf mentonnier (29).

1.3.2.1.2 Danger en implantologie

Même si sa section est rare dans la pratique implantaire quotidienne, elle reste un acte grave. La douleur est immédiate, suivie d'une anesthésie totale du territoire, qui reste le plus souvent définitive.

Lorsque l'implant est trop proche du canal dentaire inférieur, il peut y avoir des compressions du tronc nerveux associés à des paresthésies et des sensibilités mentonnières, avec ou sans anesthésie de la lèvre inférieure. Dans un cas pareil, l'implant doit bien entendu être retiré immédiatement (29).

1.3.2.2 La loge sous-mandibulaire

1.3.2.2.1 Généralités et définitions

Située dans la région sus-hyoïdienne latérale entre la face médiane de la mandibule, les muscles sus-hyoïdiens et la partie latérale de la langue, elle contient, entre autres, la glande sous-mandibulaire et le nerf lingual qui se glisse sous le canal de Wharton pour atteindre la loge sublinguale (29).

1.3.2.2.2 Danger en implantologie

L'axe de la mandibule, quelle que soit sa section, fait un angle plus ou moins marqué avec la verticale absolue. Outre le risque infectieux du plancher buccal, le nerf lingual et le canal de Wharton peuvent donc représenter un danger lors d'un forage en direction trop linguale (29).

1.3.2.3 La symphyse mentonnière

1.3.2.3.1 Généralités et définitions

Elle représente la partie la plus antérieure de la saillie du menton et constitue un lieu de prédilection pour les prélèvements de greffons osseux intrabuccaux (avec la tubérosité et la zone rétromolaire) pour plusieurs raisons (27):

- faible résorption osseuse.
- quantité d'os importante.

- qualité cortico-spongieuse.
- absence de cicatrice cutanée.

1.3.2.3.2 *Danger en implantologie*

Le risque est dû à la présence des trous mentonniers de part et d'autre du site de prélèvement. Ils se situent en moyenne à 3cm de la ligne médiane de la mandibule, et sont relativement faciles à repérer lors de prélèvements avec un lambeau muco-périosté (29).

De manière inconstante, le canal incisif peut se prolonger en avant du trou mentonnier. Dans un cas pareil, l'implant devra se situer soit au dessus avec une marge de sécurité, soit le traverser.

1.3.2.4 L'angle mandibulaire

Cette zone anatomique de la mandibule ne constitue pas un site de pose d'implant ni d'obstacle anatomique pour leur pose. Mais par contre cette région goniale constitue une zone de prélèvement importante de greffon osseux étant donné la qualité et surtout la quantité osseuse qu'elle offre.

1.4 Implantologie et mise en charge immédiate

Les principes d'ostéo-intégration élaborés par Branemark (depuis ses premiers essais en 1965 jusqu'à ses premières publications en 1982) répertoriaient cinq facteurs contribuant au succès de l'opération dont une mise en charge différée de l'implant (61):

- Le matériau de la fixture :

C'est la partie qui est vissée au contact direct de l'os. La fixture de Branemark est réalisée en titane pur. A sa surface, une couche d'oxyde de titane assurera la biocompatibilité.

- La forme de la fixture :

Sa surface présente des spires usinées ainsi qu'un filetage interne. Cela permet non seulement d'augmenter la surface de contact mais surtout d'équilibrer les forces en les répartissant dans le tissu osseux.

- L'absence d'élévation de température :

Des précautions doivent être prises lors du forage pour ne pas dépasser une température de 43° C qui entraverait l'ostéointégration par une dégradation des phosphatases alcalines.

- Pas de mise en charge :

Branemark recommande une période de repos ou encore de mise en nourrice de l'implant après sa pose :

- 3 mois en région symphysaire
- 6 mois pour les autres régions (et non comme trop souvent cité, 3 mois pour la mandibule et 6 mois pour le maxillaire).

Ce laps de temps est nécessaire pour permettre une apposition osseuse suffisante afin de supporter les contraintes occlusales. En effet, plusieurs études expérimentales ont démontré que des mouvements supérieurs à 150 microns peuvent fortement entraver l'ostéo-intégration (64).

Cependant avec l'évolution des techniques implantaire et la maîtrise des concepts prothétiques, ce paramètre commence à être remis en question. Il convient d'ailleurs de faire le point sur les différents délais de mise en charge possibles :

Mise en charge immédiate : contact occlusal le jour même ou le lendemain

Mise en charge rapide : contact occlusal avant 2 semaines

Mise en charge différée : contact occlusal après plus de 2 semaines

- Le remodelage osseux

La néoformation osseuse est au cœur de ce processus. Les contacts occlusaux vont stimuler le remodelage.

La différence entre les protocoles de mise en charge immédiate et précoce doit également être étudiée d'un point de vue biologique.

La charge occlusale a lieu pendant la phase d'apposition osseuse débutante et de remodelage osseux rapide autour de la surface. La stabilité alors obtenue après la pose de l'implant est supérieure à celle retrouvée après 2 à 7 jours. Cependant elle retrouve naturellement par la suite son niveau de stabilité initiale (30).

On comprend donc pourquoi la mise en charge différée doit avoir lieu à partir de la deuxième semaine après la pose, une fois la première phase d'apposition osseuse terminée.

Par contre des mouvements d'environ 50 microns auraient plutôt l'effet inverse, à savoir stimuler l'activité ostéoblastique. Il est donc évident de constater que la stabilité d'un implant est primordiale au moment de sa mise en charge.

Pourtant Branemark lui-même, propose aujourd'hui des techniques de mise en charge associées à la délivrance d'une prothèse le jour même de la pose des implants (51). Alors pourquoi un tel revirement de situation ? Pour commencer, il est vrai que les attentes des patients ont également évolué durant ces dernières années. Ils sont devenus de plus en plus exigeants et en particulier au niveau de l'esthétisme. La technique évoluant également de son propre côté, la question de raccourcir ces protocoles s'est faite de plus en plus ressentir.

Certaines études, comme celle d'Ericsson en 1997 sur 5 ans, ont montré une stabilité de l'implant ainsi qu'un niveau osseux marginal comparable aux protocoles en 2 temps (51).

Mais le plus intéressant reste évidemment de savoir pourquoi on peut obtenir des résultats identiques, et surtout dans quels cas ? Tout va en fait dépendre de la quantité et de la qualité osseuse accompagnés d'un contrôle précis de l'occlusion.

La densité osseuse se révèle donc être un facteur important contribuant au succès d'une mise en charge immédiate. Encore faut-il pouvoir la quantifier. Cela pourra se faire par une mesure du couple de forage (un serrage à 35-40 N/cm est recommandée pour une mise en charge immédiate) mais également grâce à l'utilisation de l'Osstell® Mentor : c'est un appareil qui réalise un test de résonance autour de l'implant (51). La fréquence de résonance enregistrée par un implant entouré de tissu fibreux est plus faible que celle d'un implant entouré de tissu osseux dur. Cet appareil nous donne une valeur numérique indicative, l'Implant Stability Quotient (ISQ) (51):

- supérieure à 65: pas de risque avec une mise en charge immédiate
- inférieur ou égal à 50: une période d'ostéo-intégration est nécessaire
- 35: une attente de 9 mois sera nécessaire

Ces protocoles s'avèrent donc plutôt propices à la mandibule où l'os y est dense et devront bénéficier d'une analyse plus approfondie dans les cas où la stabilité primaire est faible.

1.5 Principes des différents systèmes de l'implantologie assistée par ordinateur

L'implantologie, ou plus généralement la chirurgie assistée par ordinateur (CAO), repose sur des systèmes informatiques voire robotisés afin de faciliter l'acte du chirurgien.

Il faut savoir que toutes ces techniques ont d'abord vu le jour dans des domaines tels que la neurochirurgie ou l'orthopédie. Ils ont ensuite été appliqués à l'art dentaire.

En effet la neurochirurgie implique bien souvent l'abord de lésions situées dans des zones extrêmement fonctionnelles à la fois profondes et délicates à manœuvrer. La moindre erreur peut alors engager la santé neurologique voire entraver le pronostic vital du patient. C'est pourquoi le microscope opératoire du fait d'un accès et d'une visibilité réduite a peu à peu laissé place à l'avènement de nouvelles techniques comme la neuronavigation et plus tard l'assistance robotique à la neurochirurgie.

Nous allons donc présenter brièvement les 3 systèmes informatisés de guidage permettant une approche plus simplifiée et plus rapide à la chirurgie et plus précisément à l'implantologie. Ces différents procédés offrent au praticien le choix d'une simple aide logistique à une planification et à une réalisation complètes. Ils ont en commun une étape préopératoire couplée à un système informatique permettant comme nous l'avons vu précédemment de déterminer idéalement la configuration des implants.

1.5.1 Systèmes actifs : la robotisation

Dans ce cas-là, le chirurgien va être passif pendant tout ou partie de l'intervention. Un bras robotisé va effectuer lui-même l'acte chirurgical sous le contrôle bien entendu du chirurgien. La robotisation chirurgicale est relativement peu appliquée en implantologie dentaire hormis quelques cas d'implantologie maxillo-faciale. A l'heure actuelle, les commandes du robot (ou plutôt automate) sont dictées par le chirurgien. Dans un avenir plus ou moins lointain, l'Intelligence Artificielle prendra une place de plus en plus importante dans ces systèmes (2).

1.5.2 Systèmes semi-actifs : les guides chirurgicaux

Le geste chirurgical est cette fois effectué par le chirurgien mais il va bénéficier d'une aide qui va l'orienter pendant la pose des implants, à savoir un guide chirurgical fabriqué grâce au système informatique. Celui-ci pourra être positionné soit sur les dents restantes, soit sur la gencive ou enfin en contact direct avec l'os.

Les informations du scanner sont donc traitées par un logiciel qui permettra au chirurgien de réaliser une planification (montage virtuel des dents : nombre, longueur, position...). Ces informations sont ensuite transmises à une unité de fabrication qui se chargera de réaliser un guide chirurgical. Celui-ci sera positionné en bouche (voir stabilisé à l'aide de plusieurs pins ou vis d'ostéosynthèse). L'opérateur n'a donc ensuite qu'à suivre la séquence de forage en se laissant guider pas à pas. Le chirurgien ne possède donc que très peu de liberté de mouvement par rapport au plan de traitement (54).

1.5.3 Systèmes passifs : la navigation chirurgicale

Ce système est à mi-chemin entre les deux précédents. Le chirurgien reste libre de tout mouvement lors de l'intervention, mais il est guidé par un système d'imagerie et de capteurs tout au long des différentes étapes. Prenons l'exemple du Robodent® : le matériel nécessaire se composera donc d'une station de travail informatique, d'une caméra de mesure infrarouge très précise, d'un large écran tactile, d'un second écran beaucoup plus réduit (proche de la zone de travail pour guider le chirurgien pendant l'acte, ainsi que de capteurs appelés encore «trackers», les uns solidaires du patient, les autres solidaires des instruments (55).

Le système guide le chirurgien pas à pas durant toute la phase chirurgicale en conformité avec la planification thérapeutique établie antérieurement grâce au logiciel informatique. La main de l'opérateur reste cependant entièrement libre. C'est le principe dit de « réalité augmentée ».

2. Les systèmes semi-actifs : avec utilisation de guides chirurgicaux

2.1. Phase préchirurgicale

2.1.1. Intérêts

Classiquement, une approche en deux temps était nécessaire pour les patients nécessitant une réhabilitation implanto-portée : une première phase chirurgicale de pose d'implant suivi d'une période de cicatrisation plus ou moins longue selon les cas. Puis dans un deuxième temps une phase prothétique avec la mise en charge des prothèses implantaires. La tendance actuelle en implantologie vise à une thérapeutique moins invasive ainsi qu'une réduction du temps de cicatrisation. D'où l'émergence ces dernières années de systèmes informatiques permettant de (33):

- Programmer un plan de traitement complet à l'avance.
- Avoir une meilleure connaissance anatomique grâce à la qualité d'imagerie et de la reconstruction 3D, qui permet de repérer et d'évaluer à l'avance les zones à risque.
- Simuler l'intervention chirurgicale sur ordinateur.
- Présenter concrètement au patient le projet établi.
- Communiquer plus facilement entre l'équipe chirurgicale et prothétique.
- Pratiquer une chirurgie peu invasive et traumatisante diminuant les douleurs et suites opératoires.
- Réaliser une prothèse provisoire ou définitive posée le jour même assurant fonction et esthétique. Ce qui est loin d'être négligeable au niveau psychologique pour le patient.
- Préserver au maximum les tissus mous et durs.

2.1.2. Pré requis et principes communs

Le bilan pré-implantaire réalisé au préalable permettra de sélectionner les patients aux bilans de santé et radiologique adéquats à toute chirurgie buccale prévue. Tout greffon osseux doit être parfaitement cicatrisé avant d'entamer toute procédure. Et enfin il faudra bien veiller

à ce que l'ouverture buccale du patient soit suffisante afin de permettre une utilisation convenable de la palette d'instruments chirurgicaux nécessaires.

Il existe de nombreux systèmes basés sur la Chirurgie Assistée par Ordinateur. Leur objectif est double : définir une stratégie de traitement en tirant avantage des capacités de localisation que nous offre l'imagerie moderne (scanner, cone beam) ; mettre en pratique ce plan de traitement défini à l'aide d'outils et de systèmes de guidage spécialisés (18).

Cela se traduit par une série d'opérations communes à tous ces systèmes.

La première consiste en l'obtention d'une image en 3D des mâchoires du patient. Cela se réalise en deux temps, avec tout d'abord l'utilisation d'un système d'imagerie perfectionné (scanner ou cone beam le plus généralement). Les informations obtenues à l'aide de ces clichés devront ensuite être transférées et converties par un système informatique propre à chaque fabricant. Le logiciel informatique peut alors matérialiser toutes les surfaces osseuses et muqueuses du patient. Ce qui permet de simuler le plan de traitement dans son intégralité sur ordinateur. Le transfert de ce plan de traitement en bouche se fera grâce à la confection du guide chirurgical qui vient se positionner sur la mâchoire du patient lors de la phase chirurgicale d'implantation. Il permet de retranscrire de nombreuses décisions thérapeutiques (axe, diamètre d'implant) du logiciel fictif, à la réalité clinique (21). Nous allons donc décrire toutes les fonctions que ces logiciels offrent au chirurgien :

2.1.3. Fonctionnalités des logiciels de planification

2.1.3.1. Mesures

La mesure de certaines distances (Figure 7) ou d'angles (Figure 8) peut s'avérer indispensable afin de prévoir si tel ou tel implant pourra être positionné. Un outil permet donc de mesurer sur chaque coupe ces deux paramètres :

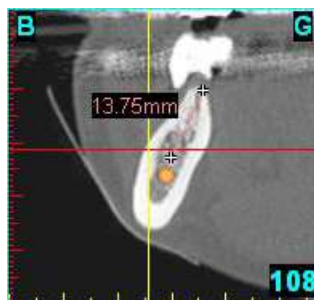


Figure 7 : Mesure de la hauteur de crête disponible avant le nerf alvéolaire (point jaune) avec le logiciel Simplant® (46).

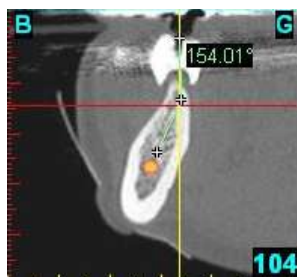


Figure 8 : Mesure de l'angle formé par la crête osseuse et la couronne prothétique avec le logiciel Simplant® (46).

2.1.3.2. Evaluation de la densité osseuse

La densité osseuse peut être évaluée de manière quantitative grâce à une unité Hounsfield. De ce fait certains logiciels proposent de déterminer cette unité sur n'importe quel point rectangle ou ellipse choisi sur n'importe quelle coupe (Figure 9). Mais cette donnée est rarement prise en compte par les praticiens qui privilégient l'impression visuelle, radiologique et clinique.

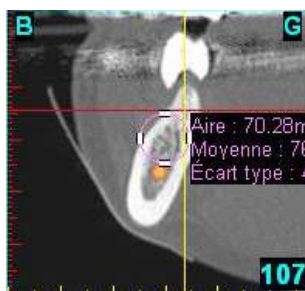


Figure 9 : Densité osseuse calculée dans le cercle sélectionné avec le logiciel Simplant® (46).

2.1.3.3. Reconstruction en 3 dimensions

Les 3 plans de coupe du scanner ou cone beam permettent au logiciel de reproduire la mâchoire du patient en 3D (Figure 10). Une fois cette reconstruction effectuée, l'opérateur peut à loisir la faire pivoter dans tous les sens et sélectionner les plans de coupes qu'il désire :

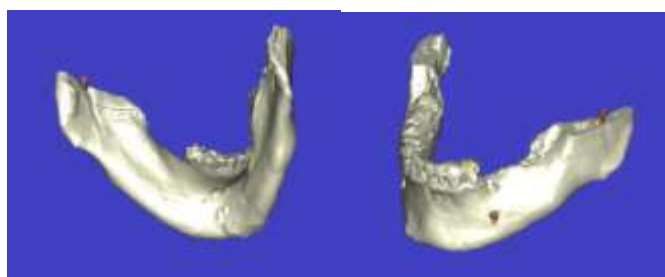


Figure 10 : Reconstruction en 3D d'une mandibule partiellement édentée avec le logiciel Simplant® (46).

2.1.3.4. Visualisation d'éléments anatomiques

Le nerf alvéolaire inférieur est le principal obstacle anatomique à la mandibule, et sa localisation précise en est d'autant plus primordiale. Certains logiciels le détectent et le colorisent sur toute sa longueur (Figure 11, 12 et 13) :



Figure 11 : Visualisation du trajet du nerf alvéolaire inférieur sur la reconstruction en 3D avec le logiciel Siplant® (46).

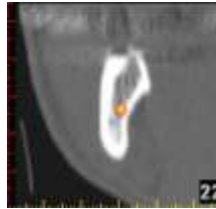


Figure 12 : Visualisation du trajet du nerf alvéolaire inférieur sur une coupe axiale avec le logiciel Siplant® (46).

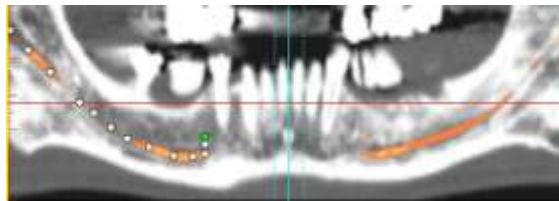


Figure 13 : Visualisation du trajet du nerf alvéolaire inférieur sur la vue panoramique avec le logiciel Siplant® (46).

2.1.3.5. Jeu des masques

Certains logiciels permettent en effet d'afficher ou d'effacer à l'écran certains éléments comme un guide radiologique, le trajet d'un nerf, des organes dentaires, d'un simple clic (Figure 14).



Figure 14 : Massif facial supérieur avec et sans guide radiologique grâce au système de masque du logiciel Siplant® (46).

2.1.3.6. Positionnement d'implant

Ne perdons pas de vue que le but premier de ces systèmes informatisés est l'aide à la pose d'implant. Leur choix se fait donc dès la planification et ce, que ce soit au niveau de leur spécificité (taille et diamètre) ainsi que de leur positionnement (Figure 15). On peut à notre guise modifier tous ces paramètres afin de sélectionner l'implant le plus adéquat à la situation clinique.

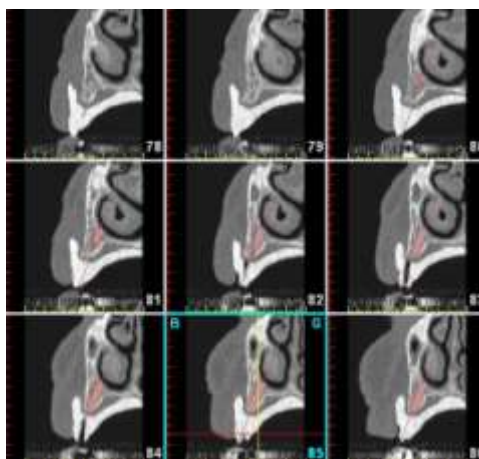


Figure 15 : Planification d'un implant vue sur une série de coupes axiales avec le logiciel Simplant.® (46).

Nous allons maintenant commencer par décrire le système Procera® NobelGuide® en détail. Puis nous évoquerons deux autres systèmes présents sur le marché : Materialise® Simplant® et enfin CAD Implant® en évoquant leurs spécificités et particularités propres.

2.1.4. Procera® NobelGuide®

2.1.4.1. Enregistrement sur le logiciel Procera®

Cette étape se réalisera dès le début, et permettra d'obtenir un code d'identification propre au patient qui sera réutilisé par la suite pour le transfert des données.

2.1.4.2. Les modèles d'étude

Des empreintes seront réalisées sur les 2 arcades du patient, accompagnées d'un enregistrement précis de l'occlusion en matériau rigide en Occlusion d'Intercuspidie Maximale ou Occlusion de Relation Centrée. Le choix se fera selon l'édentement, la stabilité de l'OIM et la différence entre ces 2 positions. Pour rappel, la position d'intercuspidie

maximale se définit comme la position de la mandibule par rapport au maxillaire qui autorise le maximum de contact dentaire avec un engrainement cuspidé fosse au niveau des molaires et cuspidés embrasures au niveau des prémolaires. Quant à la position de relation centrée, elle représente la position condylienne de référence la plus haute obtenue lors d'un mouvement de rotation pure de la mandibule (49).

A noter que dans un cas d'édentement complet, l'enregistrement intermaxillaire sera facilité par l'utilisation des prothèses existantes voire par la confection de nouvelles prothèses (qui resserviront de guide radiologique par la suite). En cas d'édentement partiel de grande étendue, il faudra veiller à ce que la clé d'enregistrement comble les zones édentées pour éviter tout risque de bascule (49).

Après la coulée en plâtre nous obtenons donc 2 maîtres modèles qui seront montées sur articulateur (49).

2.1.4.3. *Le guide radiologique*

Il correspond en fait à la préfiguration du résultat prothétique souhaité. C'est-à-dire qu'il satisfait à la fois les critères esthétiques et fonctionnels. Les dents manquantes seront donc tout d'abord recrées en cire sur le modèle en plâtre dans leur situation idéale :

- montage des dents en hauteur, occlusion et position optimale
- esthétique et soutien des lèvres

La conception de ce guide radiologique est indispensable, car reconstituant aussi bien les organes dentaires que les tissus mous, il donne une image concrète du but à atteindre à la fin du traitement. A ce stade là, le plan de traitement préfiguré au travers de ce guide radiologique est beaucoup plus influencé par le résultat final escompté que les impératifs chirurgicaux ou encore prothétiques (54).

Une fois le montage validé par le praticien et le patient, le laboratoire réalisera le guide avec un matériau non radio-opaque : de la résine acrylique (33).

Il recouvre les faces occlusales des dents naturelles de 3 à 4mm (42) pour s'étendre au niveau lingual, palatin et vestibulaire. Quant aux secteurs édentés reconstitués, il faudra veiller à ce que la résine du guide n'empiète pas sur les faces occlusales du wax up, mais uniquement sur les volets linguaux, palatins et vestibulaires. La liaison faite entre la résine et la cire doit être la plus homogène possible, tout comme la consistance même de la résine (ce qui rend l'interprétation du scanner beaucoup plus aisée) (49).

Si la prothèse amovible (complète ou partielle) est utilisée comme guide radiologique, il faudra s'assurer (54):

- qu'elle ait été au préalable rebasée et bien stable
- qu'elle recouvre le palais ainsi que les dents restantes en vestibulaires sur au moins 2-3mm pour permettre une stabilité suffisante sans risque de mouvements impromptus lors du scanner
- que la résine ainsi que les dents ne soient pas radio-opaques

Des fenêtres (au nombre de 3 à 4 en général (42)) dites d'inspection sont réalisées sur la surface occlusale des dents naturelles présentes pour vérifier la bonne insertion du guide lors du scanner mais surtout lors de la phase chirurgicale (dans le cas où le guide radiologique est transformé en guide chirurgical). Leur répartition doit être la plus uniforme possible, et les surfaces dentaires révélées sont de préférence un angle ou une pointe de cuspside : encore une fois dans un but de clarté visuel.

Toujours dans le but d'améliorer la stabilité de ce guide, les tubérosités rétro-molaires y seront bien souvent englobées (49).

Enfin, plusieurs marqueurs radio-opaques axiaux et horizontaux de gutta percha doivent être insérés tout au long du guide (Figure 16). Au nombre de 6 à 8 (voir plus si nécessaire), ces marqueurs d'un diamètre de 1,5mm pour un 1mm de profondeur (au maximum) sont généralement positionnés en annexe des incisives centrales, des canines, prémolaires et molaires (53), et le plus possible à distance d'élément métallique en bouche (67).



Figure 16 : Guide radiographique avec les marqueurs de gutta incorporés (remerciements au Dr Brétéché, Nantes).

L'enregistrement de l'occlusion, encore désigné index radiologique, se fait sur articulateur à l'aide d'un matériau rigide. En cas d'édentement complet, le guide radiologique suffit pour l'enregistrement.

Dans un cas où l'arcade antagoniste présente une zone édentée non réhabilitée prothétiquement, il faudra s'assurer que l'index radiologique comble cette zone et prenne appui sur la muqueuse pour éviter tout déséquilibre bilatéral (49).

2.1.4.4. L'examen radiologique

Le patient devra donc se présenter au département de radiologie en possession de son guide radiologique accompagné de l'index radiologique correspondant. En cas d'oubli de la part du patient de l'un ou l'autre, l'examen sera simplement annulé et reporté. Il n'existe pas de compromis possible à ce niveau.

Le système d'imagerie le plus couramment utilisé aujourd'hui reste le scanner. Mais dans le cas présent, il faut plutôt parler de technique de double scannage (49). En effet afin d'acquérir des données claires et précises de la structure osseuse du patient ainsi que du guide radiologique, il est nécessaire de pratiquer 2 scanners consécutifs.

Pour le premier cliché, le patient sera muni du guide radiologique callé fermement par l'index radiologique et devra bien entendu rester le plus immobile possible sans déglutir durant l'examen (49). Il permet donc de visualiser l'architecture osseuse et l'anatomie des sites intéressés. Le guide non radio-opaque permet d'obtenir une image osseuse sans parasite (60).

Le deuxième cliché n'enregistrera que le guide radiologique (sans patient ni index) (49). Etant donné que la radio-opacité du guide ressemble beaucoup à celle des tissus mous, le second scanner permet d'extraire précisément les données de la denture sans risque d'y inclure les tissus mous. Cependant il faudra bien faire attention à radiographier le guide dans une situation similaire à celle de son enregistrement en bouche : cela peut tout simplement se faire en fixant le guide sur un objet radio-transparent dans la même position qu'il était lors du premier scanner. Il reste conseillé d'utiliser un objet d'une couleur sensiblement plus foncé que celle du guide (polyéthylène, polyuréthane) et de le fixer avec un adhésif adéquat (leukoflex®, leukosilk®, ruban Nexcare® ou Durapore®). Cela ne joue pas un rôle pour la fusion des deux scanners, mais plutôt pour éviter des biais de mesure dus à une différence d'angulation entre le scanner et le guide lors des deux examens (6).

Vient alors le moment de confondre les deux scanners : les repères radio-opaques jouent alors un rôle primordial car ils servent de repère fixes afin de superposer les deux clichés (49).

Les données des 2 scanners sont ensuite enregistrées au format DICOM et transférées au logiciel de planification : à savoir le logiciel Procera® pour le système Nobel-Guide®.

2.1.4.5. La planification à l'aide du logiciel Procera®

Avant toute chose, la fiche du patient devra être modifiée ou mise à jour si besoin, pour récupérer le numéro d'identification qui lui est propre.

Les données du scanner au format DICOM ont été au préalable envoyées à Nobel Biocare® qui se charge de les convertir et de renvoyer électroniquement les fichiers de planification 3D (une autre version de ce logiciel nous permet de convertir les données DICOM à partir du CD de données récupéré chez le radiologue, pour optimiser le temps d'attente ainsi que les frais de conversion réalisés par Nobel Biocare®).

La phase de planification 3D peut alors commencer. A noter que la configuration minimale requise pour utiliser le logiciel Procera®, est aujourd'hui facilement abordable au vu des avancées du marché informatique. Cependant il reste préférable de l'installer sur un ordinateur à part (49):

- système d'exploitation : Windows 2000, service pack 4 ou windows XP professional, service pack 2
- processeur : pentium 2 GHz ou équivalent
- Mémoire interne : 512 MB minimum
- Carte graphique : carte nVIDIA avec minimum 128 MB de mémoire interne et configurée avec les drivers les plus récents possibles
- Moniteur : d'une résolution minimale de 1024 x 768
- Disque dur : 40 GB minimum
- Connexion Internet : haut débit

Les données du scanner offrent donc des coupes dans les 3 axes, qui sont reformatées par le logiciel pour obtenir des vues en 2 ainsi qu'en 3D. Ce qui permet de reproduire virtuellement les deux arcades dentaires et le guide radiologique en 3D, et de les observer dans n'importe quel angle voulu (Figure 17).

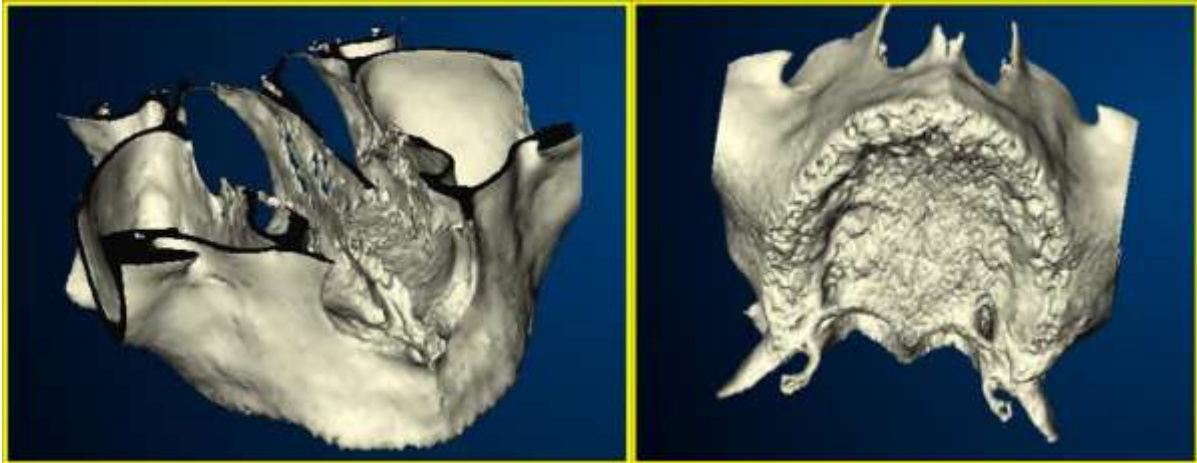


Figure 17 : Reconstruction en 3D du massif facial supérieur avec le logiciel Procera® (remerciements au Dr. Brétéché, Nantes).

Le même plan peut être observé par exemple avec, puis sans le guide radiologique, et ce en le faisant pivoter dans tous les sens. Les possibilités d'observation sont donc assez grandes (60). Cela permet en fait de palier au manque d'information qui pouvait exister avant, entre d'un côté l'appréciation et l'interprétation de l'imagerie en 2D et d'un autre côté la réalité clinique à la phase opératoire.

Une vue 3D permet donc une meilleure vision globale de l'architecture osseuse du patient, des rapports anatomiques aux implants et donc de la future prothèse.

Les sites implantaire vont donc pouvoir être planifiés. En effet des répliques exactes virtuelles d'implant, de piliers (etc...) peuvent être insérées sur les images 3D et le praticien garde le loisir de les positionner dans la situation idéale souhaitée (Figure 18) (6).

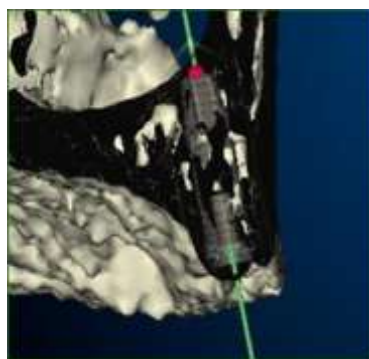


Figure 18 : Positionnement d'un implant au maxillaire à l'aide du logiciel Procera® (remerciements au Dr. Brétéché, Nantes).

Deux écrans sont disponibles lors de cette phase de planification. Le premier montre la vue 3D de la scène, quand au second, il permet d'observer la coupe en 2D. L'image de cette coupe varie en temps réel si l'on modifie l'axe du plan de coupe sur l'image 3D. En

parcourant les crêtes alvéolaires les coupes obtenues permettent au chirurgien de bien évaluer la corticale osseuse et les éventuels défauts osseux, pour au final identifier la position optimale des implants (6). Le chirurgien peut alors à tout moment changer la dimension de l'implant, sa position, son diamètre. Chaque changement effectué sur une des vues, est automatiquement retranscrit sur les autres (60). Le chirurgien prévoira également le positionnement de 3 Pins de stabilisation pour le guide chirurgical (décrit plus loin).

Le logiciel nous donne automatiquement la zone de sécurité minimale à respecter : soit une zone colorée jaune de 1mm tout autour de l'implant (38).

Enfin, la superposition de la future prothèse sur le schéma implantaire choisi, permet de faire les derniers ajustements afin d'intégrer au mieux la prothèse, que ce soit au niveau esthétique ou fonctionnel.

2.1.4.6. Le guide chirurgical

Une fois le projet vérifié et validé, le guide chirurgical pourra être commandé. Lors de sa réception, il demeure judicieux de vérifier si le numéro d'identification correspond bien au patient. Il sera accompagné du modèle en plâtre, d'un guide de repositionnement intermaxillaire, d'un duplicata de la base prothétique ainsi que d'une prothèse provisoire ou définitive. En effet le guide chirurgical est élaboré à partir du projet établi par le logiciel Procera® par l'intermédiaire d'un modèle réalisé par stéréolithographie (38).

La stéréolithographie permet de réaliser à partir de données informatiques ou d'imagerie 3D n'importe quelle structure aussi complexe qu'elle puisse être. L'objet en question est réalisé couche par couche par une machine composée :

- d'un bac de résine photopolymérisante
- d'un faisceau laser ultra violet

L'épaisseur des couches successives peut aller de 50µm à 500µm (en général, 100 à 150µm). Différents types de résines, souples, rigides peuvent être employées selon les cas. Cette technique est également utilisée dans d'autres domaines qui demandent une minutie exemplaire comme par exemple la joaillerie.

Le matériau utilisé pour la conception de ce guide chirurgical est assez sensible à l'humidité (risque de déformation au-delà d'une période d'exposition de 30 minutes à un environnement humide) ainsi qu'au rayon Ultra Violet. C'est pourquoi il est conservé dans un

sachet à l'abri des UV, hermétique avec absorbeur d'humidité. Lors de sa désinfection, il est recommandé d'utiliser un désinfectant de haut niveau pendant une douzaine de minutes, de rincer puis de sécher en évitant l'utilisation de source de chaleur.

L'épaisseur de ce guide chirurgical est de 2,5 à 3mm (il pourra à loisir être renforcé si cela est jugé nécessaire) (Figure 19).



Figure 19 : Guide chirurgical maxillaire NobelGuide® pour la pose de 6 implants avec 4 clavettes de stabilisation (remerciements au Dr. Brétéché, Nantes).

Le guide chirurgical est accompagné de diverses pièces de montage pour chaque implant. On compte donc un cylindre guide (Guided Cylinder) avec une vis (Vis Pin), qui permettent de relier la gaine du guide (Guided Sleeve) à l'implant ou la réplique d'implant (Figure 20) (49):

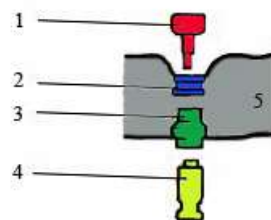


Figure 20 : Coupe transversale d'un guide chirurgical NobelGuide®(5) avec ses différentes composantes : Vis Pin (1) ; Guided Sleeve (2) ; Guided Cylinder (3) ; Réplique d'implant (4) (49).

Dans le cas d'un édentement de grande étendue comme un édentement complet, la tenue du guide chirurgical doit être optimisée par la présence de 3 tiges intra-osseuses insérées au travers du guide. Appelées encore « Anchor Pins », ces clavettes ont un diamètre de 1,5mm et sont positionnées entre les futurs implants dans le plan axial (Figure 21).

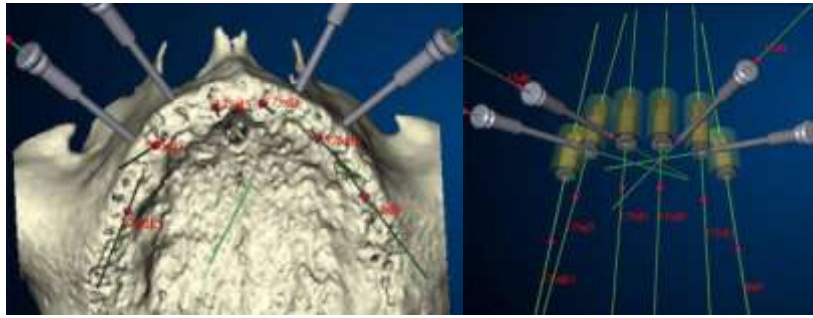


Figure 21 : Planification du positionnement de 4 clavettes positionnées entre les implants à l'aide du logiciel Procera® (remerciements au Dr. Brétéché, Nantes).

Nous allons maintenant décrire le protocole de fabrication de l'index chirurgical (enregistrement du positionnement intermaxillaire) dans le cas d'un édentement complet puis partiel ou unitaire, effectué par le laboratoire . Cet index est intercalé lors de la phase chirurgicale entre le guide chirurgical et l'arcade antagoniste afin d'assurer le bon positionnement de ce guide.

- Edentement complet :

Les répliques d'implants sont positionnées dans le guide chirurgical à l'aide des cylindres guide (Figure 22). Les clavettes sont alors positionnées à leur tour sur ce guide chirurgical. Un matériau de réplique de tissu mou est ensuite introduit à l'intérieur du guide, puis le modèle est coulé en plâtre (il est conseillé ensuite de vaseliner le guide et en particulier les cylindres guides afin d'en faciliter la désinsertion).

A noter qu'une évaluation clinique de l'épaisseur de gencive peut être au préalable réalisée par un sondage parodontal moyennant une anesthésie appropriée (54).



Figure 22 : Guide chirurgical NobelGuide® avec les répliques d'implants positionnées (remerciements au Dr. Brétéché, Nantes).

Une fois le plâtre durci, les cylindres guides ainsi que leurs vis seront enlevés afin de pouvoir désolidariser le guide chirurgical. Les excès de réplique de tissu mou sont sectionnés ensuite à l'aide d'un cutter.

Le modèle ainsi obtenu reconstitue fidèlement l'arcade du patient avec un matériau pseudo élastique qui ressemble de près à la gencive du patient (Figure 23).



Figure 23 : Modèle en plâtre et réplique de tissu mou obtenu grâce au guide chirurgical (remerciements à M. Gonzin Thierry au Dr. Brétéché, Nantes).

Une réplique de la base prothétique (ou de la future prothèse définitive) est ensuite positionnée sur ce modèle afin de pouvoir le monter sur articulateur (Figure 24). Il est alors possible de vérifier la bonne position du modèle en repositionnant l'index radiographique entre les 2 arcades sur l'articulateur.



Figure 24 : Montage en articulateur de la réplique de la base prothétique sur le modèle en plâtre et réplique de tissu mou (Remerciements à M. Gonzin Thierry et au Dr. Brétéché, Nantes).

Le duplicata prothétique est ensuite remplacé par le guide chirurgical, et l'espace libre pourra être comblé par un matériau type silicone A par exemple, pour créer l'index chirurgical.

- Edentement partiel ou unitaire:

Le procédé sera identique à quelques différences près :

- le modèle en plâtre supportant le guide chirurgical sera au préalable découpé sur la zone à restaurer.
- Les pins pourront être utilisés selon la taille de l'édentement et de la rétention primaire du guide chirurgical.

A la fin du montage, il ne faudra pas oublier de reconditionner le guide chirurgical dans son emballage protecteur (49).

2.1.5. Materialise® Simplant®

2.1.5.1. Le guide radiologique

La prothèse de scanner constitue une réplique radio-opaque du montage dentaire réalisé provisoirement afin de recomposer une arcade complète et idéale chez un sujet édenté. Ce montage doit respecter la morphologie dentaire, les profils d'émergence, l'occlusion, les points de contact et embrasure (22).

Pour commencer, les empreintes maxillaire et mandibulaire du patient sont réalisées puis coulées en plâtre afin d'obtenir 2 modèles d'étude qui seront montés sur articulateur. Ensuite la restauration finale escomptée est modélisée par un montage en cire (wax up) sur les modèles en plâtre. Après avoir contrôlé l'occlusion, ce montage sera dupliqué avec un mélange de résine transparente à polymérisation froide et de sulfate de baryum (45). Les pourcentages de BaSO₄ peuvent alors varier. Par exemple :

- En premier lieu, le BaSO₄ recouvrait les dents uniquement. Ce qui permettait d'analyser la position des dents dans l'espace par rapport à celle des implants une fois les données scanner reconstruite par le logiciel SimPlant (56).
- La deuxième génération consiste cette fois à incorporer le BaSO₄ (30%) aux dents en prenant le soin de ménager un espace vide sur la face occlusale au niveau de la fosse centrale des dents. Ce qui permettra d'identifier l'axe du futur implant (56).
- Le guide radiologique de Tardieu peut être considéré comme un guide de troisième génération. Il utilise un gradient différentiel de concentration de BaSO₄. La plaque base et les dents sont incorporés respectivement à 10% et à 30% de BaSO₄ avec la résine acrylique. Cela permet alors de transférer les informations prothétiques mais également de définir la limite des tissus mous avec la future prothèse sur les images reconstruites (56).

Une quantité insuffisante de BaSO₄ cause une visualisation insuffisante des dents sur le scanner réalisé dans un second temps, et une trop grande quantité peut nuire à la visibilité du scanner en créant des artéfacts (45). Le mélange se durcit sous presse après environ 30 minutes. Le modèle ainsi récupéré peut alors être positionné sur articulateur afin de faire tous les réglages, polissages et mises au point nécessaires. Le guide radiologique ainsi obtenu (encore appelé Scan-O-Guide) représente le schéma dentaire idéal.

2.1.5.2. Le protocole de scanner

Le patient est donc adressé à un service de radiologie en demandant une acquisition scanner TDM axiale du maxillaire et/ou de la mandibule.

SimPlant® (le logiciel de programmation dentaire de Materialise®) nécessite des images scanner de haute qualité suivant un protocole particulier. La qualité des images dépendra de la finesse des coupes et de la résolution des coupes axiales enregistrées. Les images ainsi obtenues seront traitées par Materialise® dans le but de commander un projet Sim/Plant accompagné ou non d'un SurgiGuide® (45).

Le patient commence par être délesté de tout objet métallique (prothèse amovible métallique, bijoux...) présent dans le champ d'irradiation. La prothèse de scanner (guide radiologique) est insérée en bouche. Le patient est ensuite allongé sur la table de scanner la tête en direction du rotor. Il faut alors bien spécifier au patient de limiter au maximum tous les mouvements de tête ou de corps pour éviter l'apparition d'artéfacts.

Donc contrairement à la technique du double scanner du système NobelGuide®, un seul cliché est ici réalisé par mâchoire, guide radiologique en place. C'est pourquoi le guide radiologique du système Simplant® nécessite l'incorporation de BaSO₄.

Un point important lors de l'acquisition est l'angle avec lequel les rayons du scanner vont venir frapper le patient et donc l'arcade accompagnée du guide radiologique. Seules les coupes axiales sont utilisées ici. Le plan occlusal de l'arcade scannée (déterminé à l'aide du guide radiologique) doit être parfaitement parallèle au plan transaxial de coupe du scanner (Figure 25). La tête du patient est ensuite bien callée à l'aide d'un appui-tête dans cette position déterminée. Cela se fera donc en deux temps, un pour le maxillaire et un pour la mandibule. A noter qu'une image latérale d'alignement peut être également réalisée pour vérifier la bonne position du patient (Localizer, Scoutview, Topogram, Scanogram, Pilot ou Surviview dépendant du fabricant de scanner). Les mâchoires du patient seront alors stabilisées,

toujours pour éviter les mouvements imprévisibles. Mais il est préférable que le patient ne soit pas en occlusion sur son guide radiologique car cela augmente le risque d'apparition d'artefacts (causé par l'arcade antagoniste).

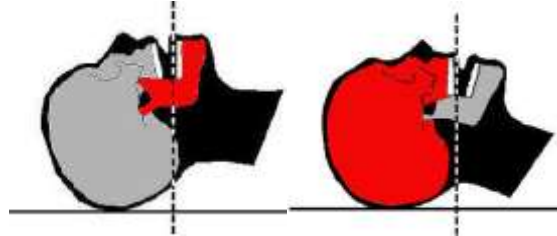


Figure 25 : Positionnement de la tête pour un scanner de la mandibule à gauche et du maxillaire à droite (45).

- Positionnement de la mandibule (45) :

La première tranche d'acquisition du scanner doit se trouver sous le bord inférieur du corps de la mandibule. La dernière tranche doit se trouver au dessus des dents restantes (ou de celles matérialisées par le guide radiologique) ou au dessus de la crête mandibulaire (en cas d'absence de dents et de guide). Il est primordial que la première et la dernière coupe n'enregistrent pas les dents, guide, ou crête alvéolaire. Ceci dans le but d'être sûr de savoir précisément où commencent et où finissent ces différentes zones.

Un scanner typique mandibulaire effectue environ 40 à 50 coupes axiales espacées de 1mm.

- Positionnement du maxillaire (45) :

Le principe est le même ici. Pour ce faire la première tranche se situera donc au dessus des premières dents (ou guide radiologique). Et la dernière doit se situer 4 à 5mm au dessus du plancher des fosses nasales. En cas d'implant zygomatique, la dernière tranche se situe plus haut : environ au milieu de l'orbite.

Un scanner maxillaire comporte en moyenne moins de coupes que celui de la mandibule : soit 30 à 40 images (toujours espacées de 1mm).

Une fois le scanner réalisé, le radiologue pourra enregistrer ces données sur un CD ou disque optique au format DICOM. Ces données étant ensuite destinées à Materialise®.

2.1.5.3. La planification à l'aide du logiciel Simplant®

Materialise® va donc récupérer ces données brutes, les analyser, nettoyer toutes les images inappropriées (colonne vertébrale, dent antagoniste, artéfacts métalliques...).

Il faut bien comprendre qu'à ce stade, le principal challenge réside en un compromis entre :

- La position optimale de la dent manquante
- La future position de l'implant qui doit répondre aux impératifs anatomiques (obstacles anatomiques, support osseux suffisant) ainsi qu'aux impératifs prothétiques définis par le projet prothétique de la restauration finale.

Le plan de traitement est accompli à l'aide d'un logiciel informatique qui autorise une visualisation du projet en 2 et 3D sur un moniteur via plusieurs fenêtres (Figure 26). Les différentes structures anatomiques (mâchoire, dents, nerf dentaire inférieur...) ainsi que le guide radiologique peuvent être vus séparément à l'aide de masques.

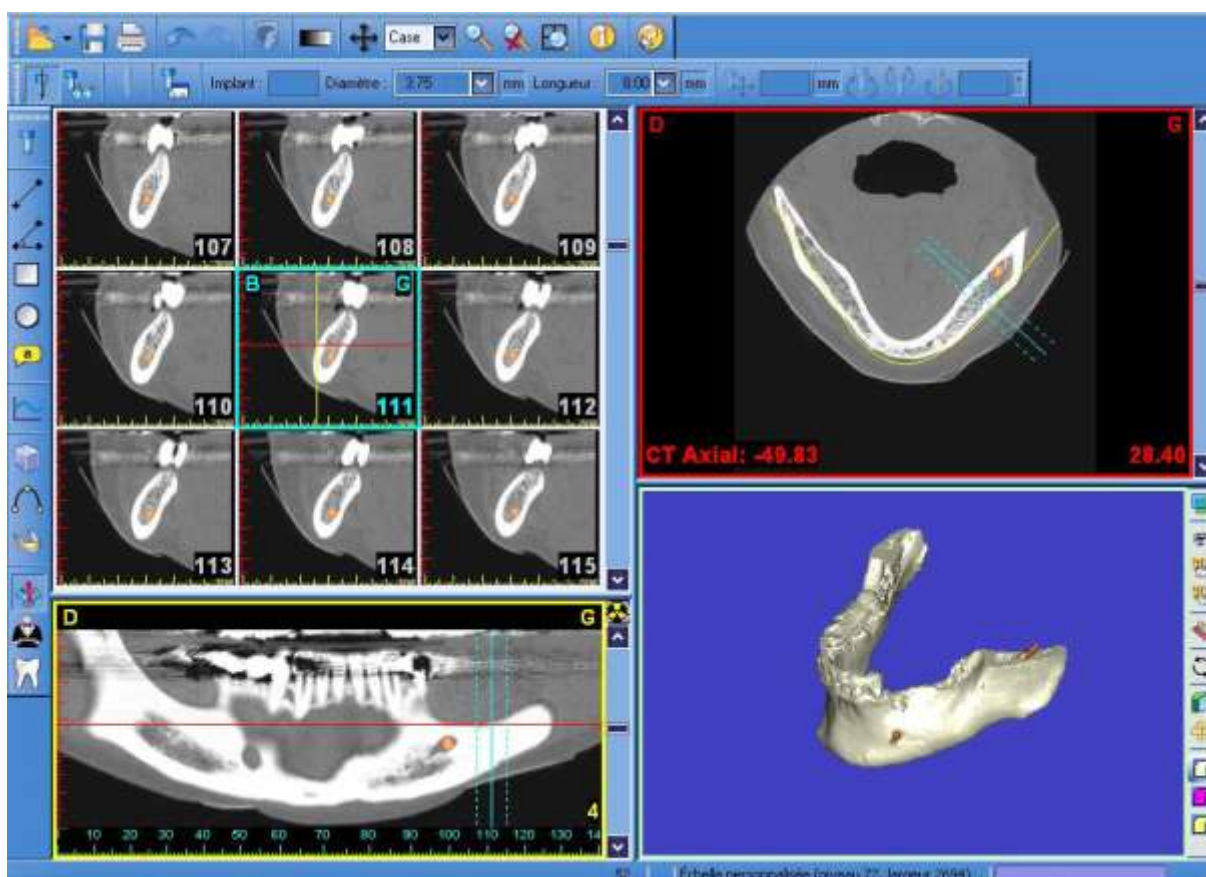


Figure 26 : Ecran de planification du logiciel Simplant® (46).

Le praticien va donc pouvoir commencer à évaluer et placer virtuellement les différents implants sur le modèle 3D. Il dispose également d'une vue panoramique, ainsi que de 4 coupes axiales de la zone déterminée sur l'image 3D. De nombreux paramètres sont à prendre en compte comme la quantité d'os disponible, sa densité osseuse entourant les zones d'implantation, qui déterminera à la fois la longueur et le diamètre de l'implant à positionner sur ce site (5). La forme de la crête osseuse sera également déterminante quant au choix du diamètre de l'implant. On peut d'ailleurs faire varier la densité de l'image grâce à un outil, ce qui permet de mieux déterminer la qualité osseuse tout autour de l'implant. Il est ensuite possible de faire varier la position de l'implant pour qu'il se retrouve dans une zone à la densité osseuse adéquate (4).

En premier lieu, les implants sont schématisés par des cylindres qui ont les mêmes dimensions que les futurs implants. Mais il est possible de mettre à l'écran l'implant de la marque et du modèle choisi s'il est enregistré dans la base de registre du logiciel. (22). L'évaluation des racines des dents restantes est également très importante lors du positionnement d'un implant afin de ménager un espace suffisant entre dent et implant. Ceci est d'autant plus important dans le cas extrême de dents incluses : la visualisation 3D de cette dent incluse permettra de positionner les implants avec la sécurité de ne jamais toucher la dent (22).

Il est également possible de visualiser à l'écran uniquement les dents et implants (sans l'os environnant) grâce au système de masques toujours dans le but de mieux évaluer les proximités entre dents et implants (22).

Une fois chaque implant positionné, il faut maintenant vérifier leur parallélisme, leur profil d'émergence, le respect de l'espace minimum nécessaire entre deux implants (ou dent – implant) et enfin l'émergence des futurs piliers prothétiques.

A noter que le programme dispose d'une application innovante appelée « Dr.James ». Cette application va choisir automatiquement la longueur, le diamètre des implants (en accord avec la bibliothèque d'implants enregistrées dans le logiciel). Après cela il est toujours possible de faire les derniers ajustements (parallélisme etc...) (5).

Une fois cette planification achevée, les données sont enregistrées et envoyées électroniquement au laboratoire du fabricant afin de commander la fabrication d'un guide chirurgical (SurgiGuide®) qui servira de support et de repère durant la phase chirurgicale de pose des implants.

2.1.6. CAD Implant®

2.1.6.1. Le guide radiologique

Après un examen complet du patient, une prothèse restauratrice est réalisée sur le modèle en plâtre du patient. Celle-ci sera essayée en bouche afin de vérifier si elle satisfait à la fois les principes mécaniques et les souhaits esthétiques du patient. Par la suite dupliquée en résine acrylique, elle servira de guide radiologique. Mais afin d'être clairement identifiables, les dents seront soit constituées de résine radio-opaque, soit indexées de points de gutta percha : tout ceci dans le but d'indiquer l'axe implantaire idéal (18).

Mais ce qui fait la particularité de ce système, c'est l'adjonction d'un cube de résine acrylique appelé Cube X, au guide radiologique (Figure 27 et 28). Il se situe sur la face antérieure du guide si bien qu'une fois le guide en bouche, le Cube X se retrouve à l'extérieur de la cavité buccale. Il comprend deux tubes de titane internes croisés perpendiculairement en leur centre (18). Nous verrons par la suite son utilité.

Une fois le guide en bouche chez le radiologue, l'acquisition des données se fait de la même manière qu'avec le système Simplant®. Les images sont ensuite transférées au logiciel CAD Implant.

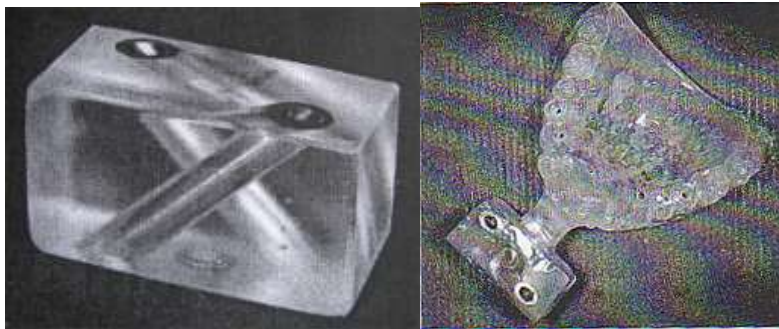


Figure 27 : Guide radiologique CAD Implant (Fortin et coll 2004) (Fortin et coll 2003).



Figure 28 : Guide radiologique CAD implant en bouche (Fortin et coll 2004).

2.1.6.2. La planification

Une fois le logiciel lancé et les données du patient chargées, le positionnement des implants peut alors débuter en accord avec les impératifs chirurgicaux (quantité et qualité osseuse disponible) et prothétique. L'écran de contrôle permet de visualiser trois plans de coupe : une coupe axiale, et deux images reformatées par le logiciel. La première est perpendiculaire à la courbure de l'arcade et la seconde est tangente. De cette façon, l'implant peut être parfaitement localisé dans les 3D de l'espace (18).

A tout moment, le praticien peut changer la position de l'implant sur l'un des 3 plans de coupe. Le logiciel calcule alors automatiquement les deux autres plans de coupe restants, en gardant toujours l'implant au centre de l'axe sélectionné (74).

Une vue tridimensionnelle peut également servir au terme de la planification, à visualiser la structure osseuse, les axes prothétiques ainsi que le parallélisme des implants.

Nous ne redécrivons pas ici en détail la méthodologie de planification étant donné qu'elle est identique aux systèmes déjà présentés précédemment.

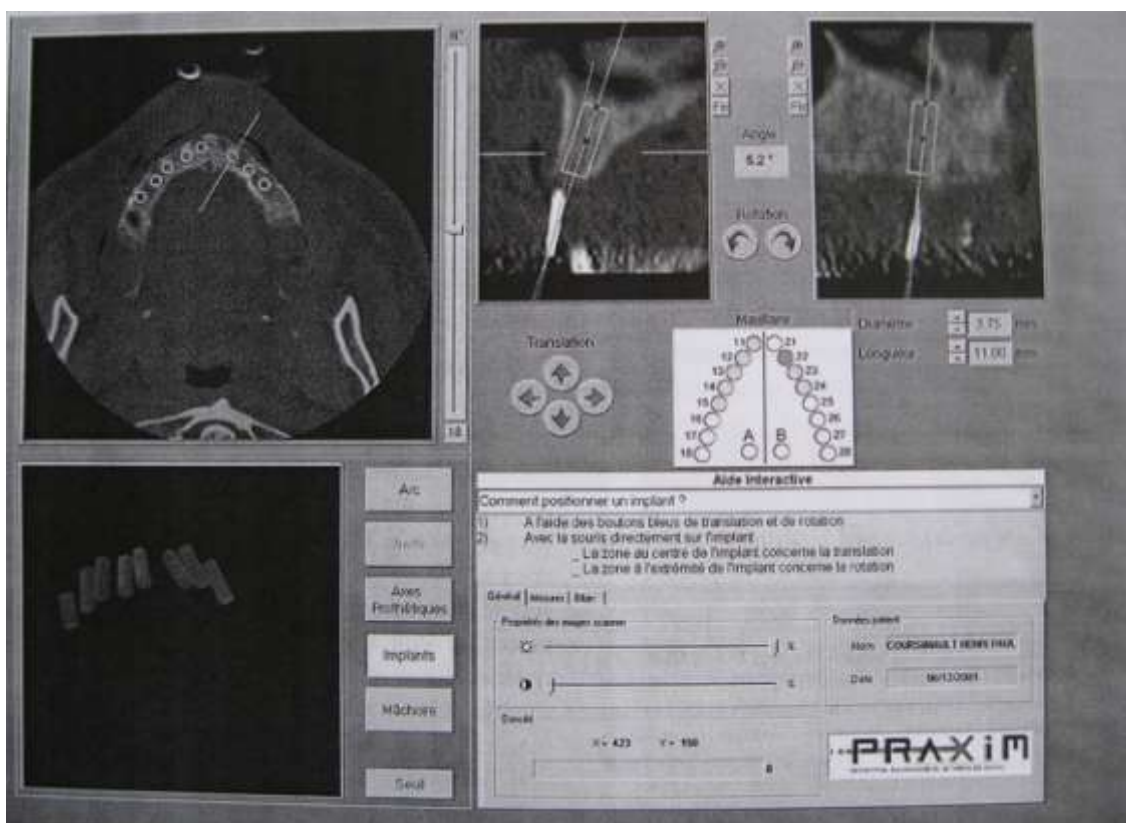


Figure 29 : Ecran de planification du logiciel CAD Implant® (Fortin et coll 2004).

2.1.7. Comparaison des systèmes

Le tableau suivant compare les différentes fonctionnalités qu'offrent ces 3 différents systèmes :

	NobelGuide®	Materialise®	CAD Implant®
Protocole de radiologie	Technique du double scanner : le guide radiologique en bouche et le guide seul	1 seul cliché scanner guide radiologique en bouche	1 seul cliché scanner guide radiologique en bouche
Guide radiologique	Non radio opaque, avec des marqueurs de gutta percha radio opaque	Radio opaque	Radio opaque
Reconstruction en 3D	oui	oui	oui
Jeu des masques	oui	oui	non
Mesures des densités osseuses	oui	oui	oui
Détermination des spécificités des implants (diamètre, longueur angulation)	oui	oui	oui
Fabrication du guide chirurgicale	stéréolithographie ou transformation du guide radiologique en guide chirurgical	stéréolithographie	guide radiologique transformé en guide chirurgical

Tableau 2 : Comparaison des différents systèmes informatiques pour la planification.

2.2. Phase chirurgicale

2.2.1. Procera® NobelGuide®

Le patient est donc installé sous champ opératoire et anesthésié selon les techniques d'anesthésie locale et régionale habituellement appliquées à l'implantologie traditionnelle (6).

Les règles d'asepsie doivent être particulièrement draconiennes. La désinfection orale est faite à partir d'une solution à base de 0,1% de chlorhexidine (Perio Aid ; Dentaid Benelux, Houten, The Netherlands). Un champ opératoire positionné sur le visage du patient perforé au niveau naso-buccal, permet d'éviter toute contamination des instruments ainsi que des gants.

Deux dispositifs d'aspiration seront employés pour éviter une contamination bactérienne croisée par la salive : 1 utilisé en bouche et l'autre pour le champ opératoire (67).

Une fois le patient installé et préparé à la chirurgie, le guide chirurgical sera positionné en bouche, et stabilisé grâce à l'index chirurgical fabriqué précédemment par le laboratoire. Le patient est alors tenu de serrer fermement les mâchoires sur l'index chirurgical, permettant le positionnement optimal du guide chirurgical (les tissus mous doivent légèrement blanchir lorsque le patient est en occlusion sur l'index et le guide, c'est un repère de bon positionnement (54)), qui se trouve alors prêt à accueillir les Anchors Pins transalvéolaire de stabilisation, après un forage à 1,5mm de diamètre (Figure 30) (52). Les fenêtres d'inspection (en cas d'édentement partiel uniquement) autorise une vision directe sur les pointes de cuspidés mises à nu et confirment le bon ajustage du guide.



Figure 30 : Guide chirurgical NobelGuide® en place avec le positionnement de l'index chirurgical et des clavettes (remerciements au Dr. Brétéché, Nantes).

Une fois le guide solidarisé, l'index chirurgical peut être retiré et le patient peut rouvrir la bouche.

Le guide chirurgical en résine contient au niveau de chaque emplacement d'implant, des cylindres métalliques auxquels s'ajustent une sorte de manchon permettant de faire coïncider les différents diamètres des forets (Figure 31) (60).



Figure 31 : Forage implantaire au travers du guide chirurgical NobelGuide® et d'un manchon permettant d'ajuster le diamètre du foret au guide (remerciements au Dr. Brétéché, Nantes).

La partie gingivale est tout d'abord évictionnée avec l'utilisation d'un foret spécialement conçu à cet effet (60).

Après avoir utilisé la série de forets adéquats, le premier implant (Branemark System Nobel Biocare AB (38)) est donc mis en place au travers des cylindres calibrés spécifiquement (60). A ce stade, il est impératif de ne pas trop forcer lors de l'insertion de l'implant car cela pourrait altérer l'orientation même du guide chirurgical (malgré la présence des pins horizontaux) (6). Afin de palier à ce problème, un pilier spécifiquement adapté au guide chirurgical sera adapté au premier implant posé. De ce fait le guide chirurgical sera stabilisé à la fois horizontalement par l'intermédiaire des Pins mais également verticalement grâce à ce pilier (6). Ce qui évitera secondairement aux tissus mous au dessus de l'implant de s'affaisser.

Un deuxième implant peut alors être positionné (accompagné de son pilier) et il sera situé géographiquement de préférence à l'opposé du premier (toujours dans une optique de stabilité maximale en diminuant tout bras de levier possible) (38). Le nombre d'implants nécessaires à la stabilisation du guide dépendra du plan de traitement virtuellement établi à l'aide du logiciel Procera®.

Tous les autres sites seront par la suite réalisés de la même façon. Et il n'est alors plus nécessaire de réaliser chaque étape de forage implant par implant (Figure 32).

A noter que des butées peuvent être placés sur les forets afin d'être sûr de ne jamais sur-préparer les sites qui vont accueillir les implants (6).

Lors du forage, si un faible résistance osseuse est détectée tactilement, il est préférable de sous évaluer le diamètre du forage pour avoir une stabilité primaire de l'implant acceptable grâce à une compression osseuse (60). Ce point est d'autant plus important qu'il faut garder à l'esprit qu'une prothèse avec mise en charge immédiate est le plus répandue avec ce type de traitement.



Figure 32 : Pose de 7 implants maxillaires à l'aide d'un guide chirurgical NobelGuide® (Remerciements au Dr. Brétéché, Nantes).

2.2.2. Materialise® Siplant®

2.2.2.1. La confection du SurgiGuide®

Les SurgiGuides® sont des guides de forage osseux successifs qui ont été réalisés et conçus par le procédé de stéréolithographie déjà décrit précédemment.

En général, 10 jours d'attente sont nécessaires avant de recevoir les SurgiGuides® (65). Trois types de SurgiGuide® sont disponibles : à appui muqueux, osseux et dentaire. Chaque SurgiGuide® possède un nombre défini de cylindres métalliques qui correspondent au diamètre et au nombre de forets nécessaires à la préparation. Typiquement, le diamètre des cylindres est supérieur au diamètre du foret de 0,2mm. Chaque diamètre de foret nécessite des cylindres de forage spécifique (adaptés sur un unique SurgiGuide), voir un SurgiGuide® propre. Ce qui implique l'utilisation d'autant de SurgiGuide que de forets nécessaires à la séquence de forage.

2.2.2.1.1. SurgiGuide® à appui muqueux

Pour réaliser un tel guide, la première condition est d'avoir un support muqueux suffisant afin de permettre la stabilisation optimale du guide.

Une fois le SurgiGuide® commandé et reçu, il convient de l'essayer sur un modèle en plâtre du patient afin de vérifier son ajustement. C'est également le moment de vérifier si le nombre, l'orientation et le diamètre des cylindres de forage correspondent bien au plan de traitement pré-établi et aux forets prévus. Il est également conseillé à ce stade de réaliser sur articulateur un mordus d'occlusion afin d'assurer sa bonne mise en place en bouche (45).

La décontamination se fera à l'aide d'un désinfectant à base de chlorhexidine ou de bétadine par exemple. La stérilisation par autoclave est à proscrire. Mais il est possible de stériliser le guide par irradiation γ ou EtO (conformément aux normes respectives EN552 et EN556) (45).

Une fois le champ opératoire chirurgical mis en place et l'anesthésie locale réalisée la première étape consiste à réaliser l'éviction du tissu gingival au regard des futurs puits de forage. La première méthode consiste à fixer le guide et à marquer au travers des cylindres la gencive kératinisée à l'aide d'une aiguille ou de bleu méthylène. Le guide est alors retiré et un cylindre de muqueuse est retiré à l'aide d'un emporte-pièce. La seconde méthode bien plus

simple consiste à forer au travers du guide même. Le choix se fera en fonction de la quantité de gencive kératinisée disponible. La première méthode est préconisée en présence d'un tissu kératinisé peu épais et fragile, car elle permet d'avoir une bien meilleure visibilité afin de préserver ces tissus au maximum (45). Néanmoins, ces deux techniques diminuent la gencive kératinisée sur la crête contrairement aux techniques de lambeau.

Le guide avec les plus petits cylindres en acier inoxydable est donc scellé une fois sa position définie grâce au repositionnement du mordu d'occlusion confectionné au préalable. La séquence de forage peut alors commencer. Il faut veiller à bien irriguer l'alvéole, et à retirer le forêt périodiquement afin de minimiser l'échauffement du tissu osseux (qui peut être préjudiciable notamment pour l'ostéo-intégration). Le premier forêt calibré au diamètre du tube métallique est donc utilisé sur chaque site implantaire. Le contrôle de la profondeur peut être déterminé en considérant à la fois la longueur du tube (5mm) et l'épaisseur de la muqueuse. Cette mesure est délivrée par le fabricant en même temps que le SurgiGuide (4).

Lorsque le forêt le plus long est trop court pour atteindre la profondeur voulue, il est théoriquement possible de terminer le forage sans le SurgiGuide®. Mais la précision est alors amoindrie et le risque de déviation augmente considérablement (45). Une fois cette première séquence de forage réalisée, il est préférable de vérifier cliniquement la position ainsi que la direction des puits.

Pour passer aux séquences de forage suivantes, soit les tubes métalliques sont changés sur le SurgiGuide® déjà en place, soit le guide est retiré et remplacé par un suivant contenant les tubes métalliques du diamètre supérieur.

Une fois les derniers forages réalisés, les implants peuvent être mis en place selon les recommandations propres de chaque fabricant (4).

2.2.2.1.2. SurgiGuide® à appui osseux

Cette technique nécessite une chirurgie avec lambeau puisque le guide vient se positionner sur l'os même de la mâchoire. La stabilité du guide est directement liée à la surface de répartition entre l'os et le guide : un guide de 3cm de longueur mésio-distale est un minimum (Figure 32). Généralement utilisés lors d'édentement complet, ces guides peuvent tout de même être utilisés lors d'édentements partiels. Mais dans ce cas vu la faible surface de support, des guides combinés à appui osseux et dentaires peuvent palier à ce problème (57).

Tout comme le SurgiGuide à appui muqueux, son adaptation est alors vérifiée cette fois ci sur le modèle stéréolithographique du maxillaire en question (Figure 33). Il est également important de vérifier et de trouver la bonne position pour l'enregistrer visuellement, ce qui facilitera son ajustage plus tard sur le patient.



Figure 33 : SurgiGuide® à appui osseux (45)

Le contrôle des cylindres et la désinfection se fera de la même façon qu'avec le SurgiGuide® à appui muqueux.

Une fois le champ opératoire et l'anesthésie locale effectués, la première étape consiste en une incision au sommet de la crête suivie de deux incisions de décharge mésiale et distale pour délimiter la zone. Le lambeau est ensuite levé en épaisseur totale (gencive + périoste). Tout tissu muqueux résiduel sur la crête osseuse devra être soigneusement retiré afin d'assurer la bonne coaptation du guide sur la surface osseuse.

Le guide est alors positionné dans la position unique et stable pré-établie auparavant sur le modèle stéréolithographique. Il est possible de modifier la forme du guide si ses extensions linguales vestibulaires ou palatines ne nous conviennent pas (mais attention cela n'affecte en rien sa stabilité ou sa précision). De la même façon la crête osseuse peut être révisée afin de faire disparaître toute arrête tranchante nuisible à l'insertion du guide. Mais si il faut réaliser une réduction globale de la crête, deux possibilités s'offrent alors au chirurgien (45):

- révision alvéolaire avant la préparation du site implantaire :

Peu recommandée, cette technique risque de modifier l'ajustement du guide. Si cela s'avère indispensable, il vaut mieux le prévoir et le stipuler au fabricant du guide afin qu'il réalise des extensions plus larges pour compenser ce manque de stabilité.

- révision alvéolaire après la préparation du site implantaire :

La séquence de forage est identique à celle observée avec le SurgiGuide® à appui muqueux. Une fois les implants posés, le lambeau est repositionné et suturé.

2.2.2.1.3. *SurgiGuide® à appui dentaire*

Ce type de guide vient donc prendre appui principalement sur les dents ou restaurations prothétiques du patient (Figure 34). En effet, dans certains cas où la stabilité serait tendancieuse, il est préférable de combiner un appui muqueux et dentaire (23).



Figure 34 : SurgiGuide® à appui dentaire (45).

Il est également conseillé comme dans les autres types de SurgiGuide d'enregistrer visuellement sa position adéquate sur le modèle en plâtre afin de faciliter sa mise en place sur le patient.

Le contrôle des cylindres, la désinfection ainsi que les séquences de forage jusqu'à la pose des implants sont communs aux deux autres types de SurgiGuide (45).

2.2.2.2. *SAFE System®*

Ce système offre au chirurgien une palette d'outils qui permet de combiner une assistance au forage, au placement des implants avec un contrôle de leur profondeur. Les bénéfices apportés par ce système sont donc une sécurité et une précision accrue pour le patient, une diminution du temps chirurgical. Il est utilisable avec tous les types de SurgiGuide (à appui muqueux, osseux, dentaire, mixte) (65).

Ce système se compose d'un plateau chirurgical avec des composants réutilisables, une séquence de forage réduite à deux instruments ainsi que des tubes guides pour chaque foret.

Nous allons maintenant décrire point par point toutes les phases nécessaires au succès de ce système :

2.2.2.2.1. *Plan de traitement*

Le plan de traitement aura été établi au préalable à l'aide du logiciel Simplant, permettant de déterminer le nombre, l'axe, le diamètre et la profondeur de chaque implant. Si cela est possible, il est préférable d'utiliser des implants de même longueur. Il est recommandé de toujours utiliser le plus faible diamètre d'implant acceptable (45).

2.2.2.2.2. *Phase pré-opératoire*

La première chose à faire est de vérifier que le set d'instruments soit complet. Ensuite il convient d'essayer les tubes guides du système SAFE sur le SurgiGuide afin de voir s'ils s'emboîtent parfaitement bien. De la même façon, les forets sont essayés à travers les tubes guides. Leur profondeur doit aussi être évaluée en fonction des mesures de l'épaisseur de gencive, associée à celle du SurgiGuide. En effet, les forets du système SAFE comportent une butée physique permettant un contrôle de la profondeur optimale lors du forage. Il existe sept longueurs de foret allant de 10 à 25mm. Les quatre premiers correspondent aux longueurs les plus communément utilisées (65). Le diamètre maximal des forets de ce set est de 4,1mm. Le SurgiGuide sera contrôlé et essayé de la même manière que dans les protocoles n'utilisant pas le système SAFE.

A ce moment, tous les instruments nécessaires à la chirurgie sont donc connus, rangés et organisés de façon intuitive dans le set de chirurgie. Cela sera d'autant plus appréciable lors de la chirurgie. Il ne reste alors plus qu'à stériliser le set (45).

2.2.2.2.3. *Phase chirurgicale*

Le guide est positionné en bouche, et éventuellement fixé à l'os de la mâchoire en question à l'aide de plusieurs vis.

L'éviction du tissu gingival pourra être effectuée avec un trépan spécifique à cet usage. Il est préférable de ne pas enlever le guide pour réaliser cette étape.

Le premier foret dénommé pilote est alors inséré dans le cylindre métallique du guide afin de réaliser un forage de 2mm de diamètre. Ce diamètre va être très rapidement élargi à

3mm via la forme même du foret. Dès que la butée du foret touche le guide chirurgical, la bonne profondeur de forage est atteinte. Il est primordial de ne pas exercer de force trop importante, cela peut endommager à la fois le foret et le cylindre qui risquerait alors de poser problème lors de sa désinsertion. L'étape est réalisée pour chaque site implantaire.

Sans changer le cylindre métallique du guide chirurgical, le deuxième et dernier foret est utilisé de la même façon (65).

A noter que dans les zones à accès limité comme les régions postérieures, le système SAFE peut être adapté en utilisant des tubes guides avec un accès latéral qui facilite l'insertion des instruments contrairement à un accès vertical classique (65).

Les tubes de forage peuvent alors être retirés du guide chirurgical (il faut bien faire attention à ne pas modifier la position du guide lors de la désinsertion de ces tubes).

Au besoin les sites peuvent être réparés par taraudage par exemple selon les consignes de chaque fabricant d'implant.

Les implants sont ensuite vissés sur des piliers de support. Ceux-ci vont servir à guider l'insertion des implants : une fois ces piliers en bonne position et au contact du guide, l'insertion de l'implant est réalisée à la profondeur voulue. Encore une fois il ne faut surtout pas forcer au risque de perdre la stabilité primaire de l'implant. Une fois tous les implants ainsi positionnés, les piliers ainsi que le SurgiGuide sont respectivement désolidarisés (65).

L'intervention est alors terminée, les protocoles post-opératoires conventionnels sont alors mis en œuvre.

Le matériel est quant à lui vérifié, nettoyé et stérilisé. Il convient de jeter tout instrument qui sera jugé trop usé et de compléter alors le set en vue des prochaines interventions.

2.2.3. CAD Implant®

2.2.3.1. La confection du guide chirurgical

Une fois le projet validé, le guide radiographique avec le Cube X va être transformé en guide chirurgical. Pour ce faire, le guide monté sur le modèle en plâtre va être envoyé chez le fabricant accompagné des données informatiques du projet préétabli. Il pourra alors être fixé sur une plateforme de perçage robotisée. Et c'est ainsi que le Cube X va jouer un rôle important : en effet la fixation du modèle et du guide sur la plateforme se fait via deux clavettes insérées dans les deux tubes en titane du Cube X, qui stabilise le modèle en plâtre

sur un support orientable. A ce moment, le guide est totalement solidaire du modèle ainsi que de la plateforme de forage. Les données numériques du plan de traitement sont donc enregistrées sur le bras robotisé qui n'a plus qu'à forer le guide puis le modèle en plâtre (Figure 35).



Figure 35 : Modèle en plâtre perforé par le bras robotisé suivant la planification établie par le logiciel CAD Implant® (Fortin et coll 2004).

Ainsi, le praticien va pouvoir valider la planification en estimant l'émergence du futur implant sur le modèle en plâtre. Dans le cas où le praticien ne serait pas satisfait du résultat, la planification peut être modifiée et le guide repercé par la suite (18).

Une fois le forage validé, des tubes métalliques sont insérés dans le guide au niveau de chaque forage, afin d'éviter toute projection de résine acrylique lors de la phase chirurgicale. Ils permettent également de guider le forage : une série de tubes du diamètre correspondant à chaque foret d'ostéotomie sera utilisé à tour de rôle lors de la phase chirurgicale.

Le Cube X n'étant plus utile pour le reste du protocole, il est sectionné du reste du guide chirurgical (74).

Afin de prévoir la réalisation de la future prothèse, des analogues d'implants sont insérés dans les puits de forage. Les piliers définitifs ainsi que la prothèse peuvent donc être réalisés sur le modèle en plâtre. Dans le cas de la mise en charge immédiate d'une prothèse provisoire le jour de la pose des implants, il est conseillé d'y adjoindre un renfort métallique (18).

2.2.3.2. Phase opératoire

Une fois l'anesthésie locale réalisée, le guide chirurgical est soigneusement positionné en bouche dans une position unique et stable : en position strictement identique à celle de l'examen radiologique. Selon l'édentement, la rétention apportée par les dents résiduels ou les surfaces gingivales, cette stabilité pourra être accrue par l'utilisation de vis d'ostéosynthèse. Le patient étant alors en occlusion afin d'assurer le repositionnement (74).

Le premier foret (foret pilote) de 2mm de diamètre est alors inséré à travers les tubes métalliques contenus dans le guide chirurgical pour réaliser la première ostéotomie. Une fois tous les sites préparés avec ce foret pilote, le guide est retiré et une très légère incision crestale est alors réalisée au regard de chaque site. Afin d’assurer le bon axe des forages suivants, une tige guide (d’un diamètre de 2,05mm) est insérée sur le site. Un foret creux est alors utilisé (3,5mm de diamètre externe) et va venir coulisser dans la tige guide. Ce système évite donc toute déviation d’axe malgré le retrait du guide lors du second forage (18).

Un dernier foret peut alors être passé afin de finaliser la préparation (selon les recommandations du fabricant). Après le retrait des tiges guides, les implants sont mis en place.

2.2.4. Comparaison des guides chirurgicaux

	NobelGuide®	Materialise®	CAD Implant®
Fabrication du guide chirurgical	stéréolithographie ou transformation du guide radiologique en guide chirurgical	stéréolithographie	guide radiologique transformé en guide chirurgical
Nature du guide	Supra dentaire Supra muqueux	Supra dentaire Supra muqueux Supra osseux	Supra dentaire Supra muqueux
Moyens de stabilisation supplémentaire du guide	Anchor pin	Aucun prévu, mais vis d’ostéosynthèse possible	Vis d’ostéosynthèse
Guidage des forets	Cylindres métalliques	Cylindres métalliques	Cylindres métalliques Tiges guides
Coût	700 € (guide chirurgical + duplicata radiographique)	545€ à 1050€ selon le type de guide	90€ à 180€
Prothèse provisoire immédiate	Oui (« teeth in an hour »)	Oui (“Immediate smile”)	Oui

Tableau 3 : Comparaison des différents guides chirurgicaux.

2.2.5. Résultats

Nous allons maintenant présenter les résultats cliniques que nous pouvons obtenir à l'aide de ces 3 différents systèmes.

2.2.5.1. NobelGuide®

2.2.5.1.1. *Descriptif*

Une étude a été réalisée par Moy et son équipe en 2008 afin d'évaluer les résultats cliniques des systèmes CAD (Computer Aided Design) et CAM (Computer Aided Machining) pour l'aide à la pose d'implants via le système NobelGuide®. Le but étant de répertorier les complications à la fois chirurgicales et prothétiques (75).

Entre 2003 et 2006, 13 patients ont donc été sélectionnés. Ils ont tous été réhabilités via le système NobelGuide® Nobel Biocare®. Cette technique utilise :

- une planification informatique
 - l'utilisation d'un guide chirurgical
 - une chirurgie sans lambeau
 - la délivrance d'une prothèse provisoire ou définitive à mise en charge immédiate dès le jour de la pose des implants. Plusieurs types de prothèses ont été posées sur les patients. Certaines incluant une architecture en fibre de carbone avec des dents en résine acrylique, d'autres en porcelaine sur une armature métallique, et enfin une denture en résine acrylique sur architecture en titane (bridge implantaire Procera®).
- Le suivi est réalisé 6 mois après la pose des implants et des prothèses.

La distribution des 13 individus se fait donc ainsi :

- 6 hommes pour 7 femmes
- âge moyen de 67,5 ans
- 14 arcades dentaires à restaurer
- 50 % d'édentement complet maxillaire (soit 7 arcades)
- 29 % d'édentement complet mandibulaire (soit 4 arcades)
- 14 % d'édentement partiel maxillaire (soit deux arcades)
- 7 % d'édentement partiel mandibulaire (soit 1 arcade)

2.2.5.1.2. Résultats

2.2.5.1.2.1. La planification

Durant chaque phase pré-opératoire de planification informatique à l'aide du logiciel Procera, aucun incident n'a été signalé (75).

2.2.5.1.2.2. Complications chirurgicales per-opératoires

Elles sont présentes au nombre de trois pour les 13 patients confondus. Deux d'entre elles sont dues à des interférences entre l'os et la prothèse. La dernière se caractérise par la perte d'un implant. En effet celui-ci n'avait pas été inséré à la profondeur adéquate et empêchait la mise en place de la prothèse. L'implant a donc été retiré et le site implantaire est resté vacant, amputant donc un des piliers à la prothèse (75).

2.2.5.1.2.3. Complications chirurgicales post-opératoires

9 complications de ce type ont été dénombrées durant cette étude. On y retrouve des douleurs persistantes chez un patient, un défaut de cicatrisation gingivale autour d'un implant chez un deuxième patient, mais surtout 8 échecs implantaires.

Ces huit échecs incluent l'implant qui a été retiré en per-opératoire. Ce qui aboutit sur les 78 implants posés en tout et pour tout à un taux d'échec de 9%.

Il reste maintenant à déterminer dans quelles conditions ces sept implants ont été mis en échec (75):

- 71,4% (soit 5 implants sur les 7) sont de longueur supérieure à 10mm :
 - 1 implant de 3,75mm de diamètre x 10mm de longueur
 - 1 implant de 4mm de diamètre x 13mm de longueur
 - 4 implants de 4mm de diamètre x 15mm de longueur
 - 1 implant de 5mm de diamètre x 7mm de longueur
- 71,4% placés sur une arcade maxillaire totalement édentée
- 1 placé sur une arcade mandibulaire totalement édentée
- 1 placé sur une arcade mandibulaire partiellement édentée
- Leur répartition dentaire se fait ainsi :

- 1 prémolaire mandibulaire
- 1 molaire mandibulaire
- 1 incisive maxillaire
- 2 prémolaires maxillaires
- 2 molaires maxillaires

2.2.5.1.2.4. Complications prothétiques précoces

Elles sont principalement dues à des descellements de prothèse, des troubles de la phonation (notamment pour les réhabilitations antérieures qui demandent un temps d'adaptation) ainsi que des morsures de joues (75).

2.2.5.1.2.5. Complications prothétiques tardives

Au nombre de 9, on peut les classer de la façon suivante :

- 2 surcharges occlusales
- 2 pertes de vis implantaires
- 3 fractures de prothèse
- 1 insatisfaction esthétique du patient
- 1 sensibilité à la pression occlusale

Il faut tout de même noter que 8 des 9 complications sont apparues sur des prothèses réalisées en fibre de carbone avec denture en résine acrylique (75).

2.2.5.1.3. Discussion

La première remarque qui apparaît à la suite de cette étude est que les complications prothétiques sont bien plus nombreuses que les chirurgicales, que cela soit précocement ou tardivement.

Concernant les complications chirurgicales per-opératoires, les difficultés rencontrées peuvent s'expliquer tout d'abord par la présence de crêtes osseuses très fines dites en « lames de couteau » qui obligent l'opérateur à faire une révision alvéolaire tout autour de la tête de l'implant. D'autre part, en région postérieure la tâche devient beaucoup plus délicate du fait d'une visibilité et d'un accès réduits. Réaliser dans de telles conditions un forage à une profondeur bien déterminée peut alors s'avérer délicat (75).

Un autre point est intéressant à souligner, à savoir que la majorité des échecs implantaires se situent sur des implants d'une longueur supérieure à 10mm. Cela peut s'expliquer par un défaut d'irrigation de la pointe du foret qui entraîne un échauffement et une atteinte osseuse. En effet, plus le foret est long et plus le système d'irrigation peine à atteindre le bout du puit de forage. De surcroît les débris osseux s'accumulent d'autant plus que le puit de forage est profond. C'est pourquoi, il est important de retirer régulièrement le foret du site, afin d'évacuer les débris présents sur le foret et d'irriguer convenablement l'os sous-jacent (75).

L'édentement complet maxillaire présente le taux d'échec le plus important. Cela peut s'expliquer par le fait que l'os maxillaire est beaucoup moins dense que celui de la mandibule et de ce fait, les sollicitations mécaniques dues à la pose d'une prothèse à mise en charge immédiate, lui sont bien plus nuisibles (et ce d'autant plus en région molaire) (75).

Le système NobelGuide® propose donc une thérapeutique de qualité malgré les complications que nous avons pu énumérer. Néanmoins, il convient de suivre à la lettre le plan de traitement et le protocole opératoire afin d'éviter, ou tout du moins, de minimiser l'apparition de complications malencontreuses.

2.2.5.2. Materialise® Simplant®

2.2.5.2.1. *Descriptif*

C'est en 2002 que Vrielinck et toute son équipe ont publié une étude concernant la pose d'implants zygomatiques et ptérygoïdiens à l'aide de ce système. Ces types d'implant sont utilisés dans les cas où les crêtes osseuses des arcades dentaires présentent de graves atrophies empêchant toute restauration implantaire standard. Cela permet entre autre d'éviter d'avoir recours à des greffes osseuses ou des comblements sinusiens.

Dans les cas présentés ici, des implants ptérygoïdiens, zygomatiques et traditionnels (au niveau des arcades dentaires) sont conjointement mis en place.

Il faut tout de même souligner que cette technique n'est pas sans risque car le passage des forets se fait dans des régions riches en éléments anatomiques importants (comme la paroi sinusienne postérieure, fosse infra-temporale...).

Le matériel utilisé est donc le logiciel de planification Surgicase® (Materialise, Leuven, Belgium) qui permettra la conception d'un SurgiGuide à appui osseux réalisé par stéréolithographie (71).

Tous les patients qui participent à cette étude sont venus consulter pour des traitements implantaires et présentent de sévères atrophies osseuses. Le recrutement des patients s'étale de décembre 1998 à mars 2001 ; période au cours de laquelle 29 patients ont été pris en charge par le service : 9 hommes pour 20 femmes ; âge moyen 56,4 ans (allant de 31 à 80 ans).

Dans la plupart des cas, ces patients venaient consulter suite à l'échec d'un traitement implantaire au préalable avec comblement sinusien ou greffe (71).

2.2.5.2.2. Phase chirurgicale

Afin d'avoir un accès ainsi qu'une visibilité accrue, une fenêtre de 10mm par 5mm est réalisée au niveau de la paroi latérale du sinus maxillaire. Le guide est fixé via des vis d'ostéosynthèse, et la pose des implants peut alors commencer.

12 patients randomisés ont été l'objet d'un contrôle scanner pour évaluer à ce stade la corrélation entre la position planifiée et réelle. Nous verrons les résultats par la suite.

Dans le cas d'implant ptérygoïdiens, étant donné qu'il n'existe pas de référence littéraire concernant leur ostéointégration, un contrôle de leur stabilité sera effectué à 6 mois lors du deuxième temps chirurgical (71).

2.2.5.2.3. Résultats

Les contrôles des patients sont effectués au deuxième temps chirurgical puis à 6 mois, 1 an et 2 ans.

Durant toute la phase opératoire, aucun désordre majeur de saignement, lésion nerveuse ou de douleur n'a été signalé. Néanmoins, on dénombre 2 cas de sinusite bilatérale post opératoires. L'administration d'antibiotique (600mg de Clindamycine par jour) accompagnée d'une irrigation de sinus a permis de résoudre cette complication.

Dans un autre cas, une fistule buccosinusale a été refermée par voie chirurgicale. Et enfin 2 patients présentaient une gingivite chronique : le premier cas fut résolu grâce à une gingivectomie. Quant au deuxième cas le problème persiste de manière récurrente sans que

cela ait pu être traité définitivement. L'implant en place ne souffrant d'aucune déficience fonctionnelle, est toujours considéré comme valide (71).

Au total, 71 implants standards, 18 ptérygoïdiens et 49 zygomatiques ont été posés.

Les résultats sont répertoriés dans les deux tableaux suivants :

	Nombre de patient suivis	Perte d'implant (standard/zygomatique/ptérygoïdien)	Perte de prothèse	Pourcentage de survie des implants (standard/zygomatique/ptérygoïdiens)
2 ^{ème} temps chirurgical	29	6/ 2/ 4	0	92/ 96/ 78
6 mois	25	0/ 0/ 0	0	92/ 96/ 78
1 an	16	0/ 0/ 0	0	92/ */ *
2 ans	13	0/ 0/ 0	0	*/ */ *

Tableau 4 : Résultats de l'étude de Vrielinck et coll (2003) concernant la perte d'implants après un suivi de 6 mois, 1 an et 2 ans.

* les données sont trop faibles pour émettre une analyse statistique (71)

Patient présentant un (ou plusieurs) échec(s) implantaire(s)	zygomatique	ptérygoïdien	standard
Patient n°1	0	2	1
Patient n°2	1	0	0
Patient n°3	1	2	0
Patient n°4	0	0	1
Patient n°5	0	0	2
Patient n°6	0	0	2

Tableau 5 : Résultats de l'étude de Vrielinck et coll (2003) concernant le nombre et le type d'implant perdu.

La perte des implants ptérygoïdiens et zygomatiques est due à un mauvais placement. Quant aux implants standard insérés sur les crêtes osseuses des arcades dentaires, leur perte

est dû à un problème de stabilité initiale, qui selon les auteurs est elle-même imputable à une atrophie et une qualité osseuse des plus médiocres.

Le taux de survie des implants standard, zygomatiques et ptérygoïdiens sont respectivement de 92%, 96% et 78%.

Etudions maintenant la précision de ce système grâce à l'évaluation des déviations observées entre l'axe des implants planifiés et leur axe au moment de la pose. Pour ce faire il faut évaluer la déviation de l'implant à ses deux extrémités, soit en coronal et apical :

	Distance de déviation coronaire	Distance de déviation apicale	Déviation angulaire
Implants standard	1,51mm (0,2 à 4,7)	3,07mm (0,4 à 6,4)	10,46° (0 à 21°)
Implants zygomatiques	2,8mm (1 à 7,4)	4,5mm (0,3 à 9,7)	5,1° (0,8 à 9°)
Implants ptérygoïdiens	3,57mm (0,2 à 7,8)	7,7mm (1,1 à 16,1)	10,18° (1,7 à 18°)

Tableau 6 : Résultats de l'étude de Vrielinck et coll (2003) montrant les déviations observées entre la planification et la réalité clinique.

La première remarque que l'on peut faire est la présence de déviations importantes entre le plan de traitement et la réalité clinique. Et ce d'autant plus, sur des implants zygomatiques et ptérygoïdiens, que sur des implants standard. Cela peut s'expliquer car les implants zygomatiques et ptérygoïdiens sont beaucoup plus longs que des implants standard. Donc une même déviation sur un implant de 40mm sera beaucoup plus visible que sur un implant de 10mm. Néanmoins, malgré toutes ces divergences, toutes les prothèses ont pu être réalisées et posées sans souci particulier (71).

2.2.5.2.4. Discussion

Le taux de succès global des implants est donc de 91%. Ce résultat qui peut paraître faible à première vue, est bien sûr à mettre en relation avec la difficulté inhérente à cette étude, à savoir des patients présentant de sévères atrophies osseuses.

La précision d'un tel système est, comme nous l'avons déjà signalé antérieurement, tributaire de la capacité à fixer de façon certaine et durable le guide chirurgical. Mais malgré sa fixation à l'aide de vis d'ostéosynthèse, des sources d'imprécision demeurent :

- Les tubes guide en acier sont plus larges que les forets qu'ils reçoivent
- L'étape finale à savoir la pose de l'implant s'effectue sans le guide. Et cela est d'autant plus dommageable sur des sites atrophés ou l'os est beaucoup plus malléable voire friable (71).

2.2.5.3. CAD Implant®

2.2.5.3.1. *Descriptif*

Cette étude réalisée par Fortin et son équipe a été publiée en 2003. Les critères d'inclusion de cette étude sont le consentement à l'étude, l'indication d'une thérapeutique implantaire ainsi que l'âge de la majorité atteint. De l'autre côté, les critères d'exclusion sont une grossesse en cours, de sévères atrophies ou irrégularités osseuses, des troubles du métabolisme, une immunodépression, l'hémophilie ou toute pathologie sanguine et enfin des problèmes de drogue ou d'alcoolisme (19).

La population étudiée est décrite ci-dessous :

- 30 patients partiellement ou complètement édentés
- 21 femmes pour 9 hommes
- De 18 à 70 ans
- 101 implants posés : 55 au maxillaire et 46 à la mandibule

Tous ces patients ont été réhabilités via le protocole CAD Implant utilisant le système Cube X qui permet un forage robotisé du guide chirurgical (vu précédemment) (19).

2.2.5.3.2. *Analyse statistique*

Un logiciel de statistique Stata 7.0 est utilisé afin de regrouper et synthétiser toutes les données (19).

2.2.5.3.2.1. Le nombre et la position des implants

Avant toute chose il faut savoir que 6 implants sur les 10 implants prévus en remplacement des secondes molaires n'ont pu être mis en place faute d'une ouverture buccale insuffisante. Ces 6 implants ont bien entendu été retirés de l'étude statistique.

Un autre implant n'a pu être posé à cause d'un manque notable de stabilité.

Ce qui aboutit à 96,6% des patients implantés avec la totalité des implants prévus. 86,6% des patients ont donc reçu des implants dans une situation en concordance parfaite avec la planification réalisée antérieurement grâce au système informatique. Dans le reste des cas, les différences entre le projet et la réalité clinique sont tout à fait acceptables et ne sont donc pas assez significatives pour que cela ait entraîné une quelconque modification du plan de traitement (19).

2.2.5.3.2.2. La longueur et le diamètre des implants

	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Longueur planifiée de l'implant	10,8	2	7	15
Longueur clinique de l'implant	10,7	2	7	15
Diamètre planifié de l'implant	4,1	0,4	3,3	5
Diamètre clinique de l'implant	4,1	0,4	3,3	5

Tableau 7 : Etude de Fortin et coll (2003) ; comparaison des diamètres et longueurs des implants entre la planification et la réalité clinique.

Les longueurs d'implants planifiées et cliniques sont dans 98,9% les mêmes. Ce taux s'élève à 96,8% concernant les diamètres de ces même implants.

Dans deux cas, les implants finalement mis en place ont été d'un diamètre supérieur à celui pré-établi. La cause en est une ovalisation du puit implantaire. D'où la nécessité du passage d'un foret de diamètre supérieur.

Dans un autre cas l'implant, posé a, cette fois-ci été, d'une longueur inférieure. En dehors de toute complication, le praticien a tout simplement jugé suffisant un implant plus court (13mm au lieu de 15mm) (19).

2.2.5.3.2.3. Les complications anatomiques

Il est possible de regrouper en 4 catégories les complications qui peuvent être anticipées dès la planification informatique ou survenues lors de la phase chirurgicale : les déhiscences osseuses, les fenestration osseuses, les greffes osseuses et enfin les ostéotomies.

	Planifiée		Non planifiée	
	Confirmée	Infirmée	Non apparue	Apparue
Déhiscence osseuse	17	1	75	1
Fenestration osseuse	1	0	93	0
Grefe osseuse	10	1	83	0
Ostéotomie	7	1	86	0

Tableau 8 : Etude de Fortin et coll (2003) ; confrontation entre les complications planifiées et rencontrées.

Dans le cas où une déhiscence osseuse a été révélée sans que les étapes pré-opératoires ne la décèlent, un implant de diamètre supérieur a été positionné (19).

2.2.5.3.3. Discussion

Cette étude montre que les systèmes de planifications informatiques couplés à une chirurgie à l'aveugle, peuvent être extrêmement fiables ; à condition d'effectuer une étude suffisamment précise sur le choix des patients. Le bras robotisé qui va perforer le guide chirurgical possède une précision de 0,2mm en translation et de 1,1 degrés en rotation. Avec un tel système, le praticien peut alors anticiper la quasi-totalité des complications osseuses telles les déhiscences ou greffes nécessaires, avant même d'avoir entamé la phase chirurgicale.

La principale source d'erreur provient donc du mouvement du guide chirurgicale, que ce soit au moment de son forage ou de la chirurgie. Problème résolu grâce au procédé Cube X en phase pré-opératoire et grâce à un système de fixation du guide à l'aide de vis transalvéolaires.

Au vu des résultats obtenus par cette étude, on peut dire que ce logiciel de reconstruction en 3D associé à l'utilisation d'un guide chirurgical permet une reproductibilité du plan de traitement à moins d'un millimètre près ; que cela soit au niveau de la localisation,

de la taille des implants à poser, ou afin d'évaluer la qualité osseuse et donc les éventuelles complications à prévoir lors de la chirurgie. La chirurgie sans lambeau ou encore dite « à l'aveugle » avec tous les avantages qu'elle comporte devient possible et surtout fiable depuis l'essor de ces technique (19).

2.3. Discussion

2.3.1. Avantages

Comme nous avons pu le voir, l'informatique, par le biais de logiciels perfectionnés, offre au chirurgien bien des avantages autant lors de la phase pré-chirurgicale que lors de la phase chirurgicale :

- Une reconstruction en 3D de la mâchoire du patient qui permet de localiser tous les obstacles anatomiques avec une grande précision et de déterminer les zones qui peuvent potentiellement affecter le taux de succès de l'implantation (39).
- Une planification complète du plan de traitement de façon virtuelle sans avoir à réaliser un seul lambeau sur le patient, grâce à une modélisation du tissu osseux qui permet d'en apprécier à la fois sa quantité et sa qualité.
- Optimiser au maximum le volume osseux disponible pour y placer le nombre nécessaire d'implants tout en protégeant les structures anatomiques à risque.
- La possibilité de donner au patient une idée du résultat esthétique prévue grâce à la simulation informatique
- La réalisation d'un (ou plusieurs) guide(s) chirurgical(aux), permettant le transfert du plan de traitement virtuel à la réalité clinique de façon extrêmement précise, tout en évitant les erreurs humaines de déviation.
- La pose d'implant sans avoir à réaliser de lambeau (à l'exception des guides chirurgicaux à appui osseux), avec tous les avantages qu'une telle chirurgie apporte : diminution du temps opératoire, des saignements, de l'inflammation et des douleurs post-opératoires (52).
- La réalisation d'une prothèse provisoire ou définitive grâce à la simulation informatique.

- La possibilité pour le patient de repartir le jour même de sa chirurgie avec une prothèse avec un résultat esthétique et fonctionnel très satisfaisant (1) (52).

2.3.2. Inconvénients

- Les extractions et la cicatrisation des sites doivent être réalisées avant le début du protocole d'imagerie (2 à 3 mois minimum) (6).
- Une irradiation est occasionnée par le protocole d'imagerie par scanner. Cette donnée vient à être remise dans son contexte avec la technique du cone beam bien moins irradiante pour des qualités quasi similaires.
- Lors de l'acquisition scanner, selon l'orientation du plan plus ou moins parallèle au plan d'occlusion des déformations peuvent être observées. Par ailleurs des micro-mouvements, de la tête du patient imperceptibles à l'œil nu, peuvent également survenir durant l'acquisition. Ces deux phénomènes peuvent entraîner des déformations d'images allant jusqu'à 5mm en sur, ou sous évaluation (62).
- Lors du protocole de double scanner avec le système NobelGuide®, une différence de positionnement dans l'espace du guide radiographique entre les 2 clichés (le premier est effectué avec le patient et le second seul) peut entraîner des déformations d'images.
- Tout élément métallique présent en bouche lors de l'acquisition scanner (ou cone beam) entraîne des artéfacts qui peuvent rendre illisibles certaines coupes, voire tromper l'opérateur qui peut très facilement les confondre avec du tissu osseux (59).
- L'excès d'épaisseur tissulaire généralement rencontrée en région postérieure maxillaire édentée peut empêcher la bonne stabilisation du guide chirurgical (6). Et en terme plus général, la stabilisation du guide chirurgical sur la muqueuse ne peut être parfaite du fait même du caractère pseudo élastique du tissu gingival. Certains systèmes prévoient alors la fixation de clavettes afin de solidariser le guide à l'arcade du patient, cependant la fixation des clavettes ne s'opère qu'après le positionnement du guide en bouche. Ils permettent donc d'éviter tout mouvement du guide lors de la phase opératoire, mais en aucun cas d'assurer le bon positionnement initial du guide.
- Le guide chirurgical, du fait de la présence de ses tubes métalliques et de leur espacement minimal requis (mécaniquement parlant afin d'assurer une résistance minimale au guide lors des forages implantaires), impose une distance minimale entre deux implants à poser. Cet espace nécessaire entre 2 implants est donc supérieur avec

l'utilisation des guides chirurgicaux de ce type qu'avec des techniques conventionnelles (6).

- Le guide chirurgical réduit les marges manœuvre pour changer le plan de traitement en cours d'opération.
- Ces systèmes sont tout de même complexes à maîtriser et occasionnent un coût non négligeable : chez NobelBiocare® par exemple, un protocole complet jusqu'à la pose d'un bridge provisoire (sans compter la prothèse définitive) sur 6 implants revient environs à 9000 euros pour le patient.

2.3.3. Indications

Malgré les indéniables qualités qu'apportent ces systèmes, il paraît évident qu'ils ne sont pas à appliquer à n'importe quel type de chirurgie implantaire. En effet, étant donné la complexité de leur mise en œuvre et leur surcoût occasionné, il semble préférable aujourd'hui réserver ces systèmes à certains cas complexes :

- Cas complexes avec risque de déhiscences osseuses.
- Cas nécessitant la pose d'implants ptérygoïdiens ou zygomatiques.
- Arcade édentée totalement avec pour objectif, la réalisation d'une prothèse fixée (24).

Dans les autres cas, leur utilisation est, bien entendu, possible mais leur intérêt reste limité.

2.3.4. La mise en charge immédiate

Un des principaux intérêts de ces techniques d'implantologie assistée par informatique, au-delà d'une chirurgie sans lambeau, est la possibilité de concevoir une prothèse (provisoire ou définitive) posée le jour même de la chirurgie. Etant donné que le placement des implants a été prévu initialement, celui de la prothèse peut l'être de la même façon.

En effet, traditionnellement le temps nécessaire à la mise en nourrice des implants est fixée à 3 mois pour la mandibule et 6 mois pour les maxillaires (10). Le patient doit donc attendre cette période supplémentaire à la première étape de chirurgie implantaire avant de recevoir sa ou ses prothèses.

La perspective d'une mise en charge immédiate, et donc concrètement pour le patient de repartir avec sa prothèse le jour même de la chirurgie, est très alléchante. C'est en 1990 que la

première étude clinique longitudinale sur la mise en charge immédiate d'implants mandibulaires est publiée (10).

Voilà pourquoi ces techniques sont de plus en plus pratiquées. Il n'en reste pas moins que certains points essentiels doivent être remplis afin d'en assurer le succès (23):

- Une quantité suffisante d'os de soutien.
- Une stabilité primaire de l'implant.
- Une immobilité de la prothèse pendant au minimum 8 semaines.
- Un plan de traitement prothétique pré-chirurgical établi avec soin.
- Un transfert parfait du plan de traitement à la réalité clinique.
- Une gestion des tissus mous.

Nous allons maintenant regarder à l'aide d'études cliniques si le taux de survie d'implants mis en charge immédiatement est bon et si il est comparable à ceux mis en charge plus conventionnellement (mise en charge précoce et différée).

2.3.4.1. Etude de la mise en charge immédiate d'implants posés sur des arcades maxillaires édentées totalement

2.3.4.1.1. Descriptif

Gioacchino et ses collaborateurs ont publiés en 2007 une étude sur la mise en charge immédiate d'implants maxillaires sur des patients édentés entièrement sur cette arcade. Tous les patients inclus dans cette étude ont été suivis à 1 an et ont tous signé un formulaire de consentement (10).

Critères d'inclusion :

- Interventions chirurgicales ayant eu lieu entre janvier et juin 2004.
- Age minimum de 18 ans.
- Patient édenté totalement au maxillaire.
- Quantité suffisante d'os pour permettre le placement d'implants de 10mm minimum de longueur et de 3,7mm minimum de diamètre sans avoir recours à des protocoles de greffes.

Critères d'exclusion :

- Pathologies buccales tel le lichen plan.

- Irradiation de la région de la tête et du cou ou chimiothérapie datant de moins de 6 mois.
- Troubles crânio-faciaux sévères.
- Bruxisme.
- Désir esthétique irréalisable.
- Toute pathologie psychiatrique.
- Tout déséquilibre ou pathologie générale contre-indiquant une chirurgie.

Au total, 202 implants ont été posés sur 33 patients : 18 hommes pour 15 femmes, allant de 39 à 70 ans (moyenne d'âge 56,6 ans). Tous ces implants ont été posés à l'aide de guides chirurgicaux mais sans apport de l'informatique à leur réalisation. La mise en place des prothèses provisoires en bouche ont quant à elles été réalisées le jour même de l'intervention (4 à 8 heures après celle des implants). Les patients ont ensuite été revus tous les 3 à 4 jours durant les 2 premières semaines, puis 1 fois par semaine les 2 suivantes et enfin 1 fois par mois jusqu'au terme de l'étude. Les prothèses définitives ont été mises en place environ 45 jours après les prothèses provisoires (10).

2.3.4.1.2. Résultats

Type de complication	Nombre de patient concerné	Nombre d'implant concerné
Echec prothétique	1*	-
Echec implantaire	2	2
Péri-implantite	2	2
Inflammation et défauts gingivaux	2	-
Douleurs intermittentes	1	-
Perte de la prothèse provisoire	4	-
Ajustement de la prothèse sur overdenture	2	-
Perte de piliers implantaires	1	1
Détachement de dent sur la prothèse	1	-
Fracture d'un morceau de résine d'une prothèse sur overdenture	1	-
Fracture de la prothèse au palais	1	-

Tableau 9 : Etude de Giocchino et coll (2007) ; récapitulatif des complications rencontrées.

* Aucune prothèse n'a été perdue, cependant un patient a souhaité le remplacement de sa prothèse sur overdenture par une prothèse fixe. Cela a été possible avec l'adjonction de piliers grâce à un comblement sinusien réalisé 3 mois après la fin de l'étude.

Concernant les pertes de prothèses provisoires, 2 cas ont nécessité l'adjonction d'un renfort métallique.

Concernant les 2 implants perdus, ils ont du être retirés pour cause de douleur et de mobilité. Ils ont ensuite été remplacés par des implants de diamètre supérieur (4,8mm).

A une exception près, toutes les complications prothétiques ont été résolues le jour même.

Concernant les douleurs post-opératoires, 8 patients n'en n'ont pas souffert, 18 ont eu de légères douleurs, 6 ont eu des douleurs modérées et enfin 1 patient a subi de sévères douleurs. Toutes ces suites opératoires ont su être gérées (10).

2.3.4.1.3. Résultats d'études similaires

De nombreuses études ont été réalisées dans des conditions similaires : mise en charge immédiate d'implants sur des patients édentés total au maxillaire. Nous allons présenter uniquement les résultats obtenus dans le tableau suivant :

Etudes	Patient		implants		Nombre d'échec prothétique	Recul clinique	Système utilisé
	Nombre total	Nombre d'échec	Nombre d'implants posés	Nombre d'échec			
Bergkvist et Al (8)	28	2	168	3 (1,78%)	0	8 mois	Straumann® SLA
Degidi et Al (15)	44	5	338	3 (0,89%)	0	5 ans	divers
Malo et Al (41)	32	2	128	3 (2,34%)	0	1 an	Nobel Biocare TiUnite®
Östman et Al (50)	20	1	123	1 (0,81%)	0	1 an	Nobel Biocare TiUnite®
Van Steenberghe et Al (69)	27	1	184	0	0	1 an	Nobel Biocare TiUnite®
Total	151	11	941	10 (1,06%)	-	-	-

Tableau 10 : Etude de Gioacchino et coll (2007) ; résultats de différentes études sur la mise en charge immédiate d'implants posés sur des arcades maxillaires totalement édentées.

2.3.4.1.4. *Discussion*

L'inconvénient majeur de cette étude est qu'elle ne compare pas les techniques de mise en charge immédiate avec les techniques traditionnelles de mise en charge différée. Cependant les résultats obtenus sont tout de même satisfaisants, puisque seulement 2 implants ont été perdus, soit 1% des implants posés lors de cette étude (10). Il s'avère que le critère le plus important de cette réussite est la stabilité primaire de l'implant lors de sa pose avec un serrage de l'implant à 30 ou 40 N/cm (10).

Le deuxième reproche que nous pouvons effectuer est le relatif faible temps de recul de l'étude. En effet, bien qu'à 1 an la majorité des complications sont normalement observées, il n'en reste pas moins qu'il serait intéressant de savoir comment vont se comporter ces implants dans un futur plus lointain.

2.3.4.2. *Comparaison entre mise en charge immédiate, précoce et conventionnelle*

Marco Esposito et son équipe ont publié en 2007 une étude visant à comparer les différentes techniques de mise en charge pour savoir si le temps de latence entre la pose de l'implant et sa mise en fonction pouvait avoir un rapport. Pour ce faire, il a rassemblé diverses études déjà réalisées par d'autres auteurs et les a confrontées (16).

2.3.4.2.1. *Descriptif*

Dans le cadre de cette étude, il a été associé à chaque type de mise en charge un laps de temps entre la pose de l'implant et sa mise en fonction (16) :

- Mise en charge immédiate : mise en fonction de l'implant avant la première semaine.
- Mise en charge précoce : mise en fonction entre 1 semaine et 2 mois.
- Mise en charge conventionnelle : mise en fonction après 2 mois.

Au total, 790 implants ont été posés sur 300 patients avec la répartition suivante :

	Nombre d'implants posés		
	Total	maxillaire	mandibulaire
Mise en charge immédiate	253	64	189
Mise en charge précoce	230	132	98
Mise en charge conventionnelle	307	90	217
Total	790	286	504

Tableau 11 : Etude de Marco Esposito et coll (2007) ; répartition des implants posés selon l'arcade et le type de mise en charge.

Les résultats ont ensuite été observés après 6 mois (pour 2 études) à 1 an (pour le reste des études) de mise en charge des implants, et présentés de la façon suivante (16) :

- Mise en charge immédiate *versus* mise en charge conventionnelle
- Mise en charge précoce *versus* mise en charge conventionnelle
- Mise en charge immédiate *versus* mise en charge précoce

Trois critères sont pris en compte afin d'évaluer les résultat :

- Le nombre d'échec implantaire que ce soit pour un problème de mobilité ou d'infection.
- Le nombre d'échec prothétique (non consécutif à une perte d'implant)
- Le niveau osseux marginal autour de l'implant évalué radiographiquement.

2.3.4.2.2. Résultats

	Nombre d'implant		Nombre de prothèse	
	posé	en échec	posée	en échec
Mise en charge immédiate	253	6 (2,37%)	?	5
Mise en charge précoce	330	8 (2,42%)	?	5
Mise en charge conventionnelle	307	6 (1,95%)	?	2
Total	790	20 (2,53%)	328	12 (3,66%)

Tableau 12 : Etude de Marco Esposito et coll (2007) ; Récapitulatif des échecs implantaires et prothétiques.

○ Mise en charge immédiate versus mise en charge précoce :

Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence que ce soit concernant les échecs prothétiques (risque relatif calculé à 1,98), les échecs implantaire (risque relatif calculé à 1,44) ou le niveau osseux marginal (16).

○ Mise en charge immédiate versus mise en charge conventionnelle :

Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence que ce soit concernant les échecs prothétiques, les échecs implantaire (risque relatif calculé à 1,15) ou le niveau osseux marginal (16).

○ Mise en charge immédiate versus mise en charge précoce :

Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence que ce soit concernant les échecs prothétiques (risque relatif calculé à 3,23), les échecs implantaire (risque relatif calculé à 3,23) ou le niveau osseux marginal (16).

2.3.4.2.3. *Discussion*

Comme nous avons pu le voir aucune différence de résultat significative n'a pu être mise en évidence durant cette étude. Cependant il ne faut pas pour autant simplifier les choses en disant que la mise en charge immédiate des implants peut se faire de la même façon et surtout avec d'aussi bons résultats qu'avec les techniques conventionnelles. Il s'est avéré que dans la majorité des études présentées ici, les patients avaient été consciencieusement sélectionnés avec des critères d'inclusion et d'exclusion très stricts. De plus, les opérateurs sont en général des chirurgiens confirmés et très expérimentés : dans une étude avec un chirurgien moins expérimenté, le taux d'échecs prothétiques a pu être de 25% à 42% supérieur, et de 44% supérieur dans une seconde étude (16).

2.3.4.3. Conclusions

Il est donc possible aujourd'hui de mettre en charge immédiatement des implants avec un taux de succès élevé et comparable à une mise en charge différée qui a pendant très longtemps été prodiguée. Même si les taux de succès sont bien réels, il ne faut pas négliger les conditions nécessaires à ce succès : la sélection des patients doit être faite avec une attention particulière, l'opérateur doit être confirmé et coutumier du matériel utilisé et enfin, ce qui

apparaît comme le principal pré-requis est aujourd'hui la stabilité primaire de l'implant (un serrage à 40N/cm est conseillé (66)).

3. Le point sur les autres systèmes

3.1. La navigation chirurgicale

La navigation chirurgicale a tout d'abord été introduite en neurochirurgie en 1986. Depuis lors, cette technique a été adaptée à de nombreuses autres disciplines comme la chirurgie de la tête, du cou, l'orthopédie et plus récemment l'implantologie dentaire. En effet contrairement aux techniques utilisant des guides chirurgicaux qui peuvent être encombrants, cette technique permet d'enregistrer la position d'un instrument par rapport à celle du patient en temps réel à l'aide de capteurs. Le moindre mouvement est immédiatement retransmis sur un écran de contrôle. On comprend alors aisément pourquoi de tels systèmes ont su trouver leur place au sein des techniques d'implantologie moderne. C'est dans les régions anatomiques complexes, que la sécurité offerte vis-à-vis des éléments anatomiques adjacents, y trouve tout son sens (48).

3.1.1. Principes techniques

Avant tout, comme avec les systèmes utilisant des guides chirurgicaux, une acquisition numérisée des structures anatomiques est nécessaire. Les navigateurs constitués d'une station centrale de traitement des données, permettent ensuite durant la phase chirurgicale un guidage de l'instrument en temps réel. Ceci reste possible grâce à la présence de capteurs et de repères (72).

Les repères fixes doivent tout d'abord être choisis sur le patient, et ne jamais bouger durant toute l'intervention. Leur nombre doit être supérieur ou égal à 3 afin de permettre une géo-localisation en 3D. Pour ce faire ces capteurs peuvent être placés sur :

- un arc facial
- des armatures externes comme un guide radiologique stabilisé sur l'arcade dentaire
- un système de fixation utilisant des vis d'ostéosynthèse (ce système est jugé bien trop invasif pour justifier son utilisation en implantologie orale)

Un dernier système de balayage par laser de la surface corporelle est également disponible afin d'enregistrer la position du patient de façon automatique (44).

Plusieurs techniques sont disponibles à ce jour quant au moyen de localisation de l'instrument et du patient dont les données sont transmises à la station de traitement (73):

- voie filaire ou mécanique : la précision établie par ce type de mécanisme de transmission est relativement correcte (1mm) et il ne peut y avoir d'interférences possible provenant de l'environnement extérieur. Mais en contre partie, la mobilité est restreinte, et la manipulation est bien moins évidente qu'avec des systèmes sans fils (73).
- voie électromagnétique : les capteurs positionnés sur le patient et sur les instruments, émettent des ondes captées par l'unité centrale. Mais il est impératif qu'aucun corps ferro-magnétique (aimantable) ne se trouve sur le trajet. Sa fiabilité reste tout de même perfectible compte tenu des nombreuses interférences possibles (43).
- voie ultrasonore : au vu d'une résolution inférieure (précision de 1 à 4 millimètres) aux autres techniques, et à une susceptibilité accrue aux interférences (réflexion, effet doppler...), ces systèmes sont de moins en moins plébiscités par les praticiens (73).
- voie optique : une diode à infrarouge est positionnée sur la station centrale qui émet des rayonnements vers l'instrument et le patient équipé de réflecteurs. Les rayonnements réfléchis par le patient et l'instrument sont captés par une caméra stéréoscopique sensible aux infrarouges. Le principal inconvénient de ce système réside comme on peut aisément le comprendre, en la nécessité de l'absence de tout objet opaque pouvant interférer sur le trajet des rayons dans le champ de rayonnement. Malgré un coût supérieur et surtout grâce à leur grande précision (de 0,1 à 0,4 millimètres) et leur facilité de stérilisation, ces types de systèmes sont aujourd'hui les plus répandus (73).

De nombreux systèmes existent aujourd'hui sur le marché : IGI® DenX, VectorVision®, Stryker-Leibinger® et RoboDent® (décrit par la suite) pour ne citer qu'eux (72).

3.1.2. Le système Robodent®

Nous allons maintenant décrire en détail le fonctionnement d'un des systèmes de navigation chirurgicale présent sur le marché : Robodent®

3.1.2.1. La gouttière radiographique

Cette phase est en partie similaire avec le protocole des systèmes semi-actifs. A partir d'un wax-up réalisé sur le modèle en plâtre du patient, une gouttière thermo formable radiographique est réalisée. La nuance va se matérialiser par l'adjonction d'un capteur (tracker) noyé dans la résine au niveau de l'édentement (55).

3.1.2.2. Acquisition tomodensitométrie

La gouttière en bouche, le scanner est réalisé en prenant toutes les précautions précédemment énumérées pour les systèmes semi-actifs (55).

3.1.2.3. Enregistrement et transfert des données

Une fois les données converties au format DICOM, elles sont transférées sur ordinateur afin d'être interprétées par le logiciel Robodent®. Le praticien peut donc à ce stade évaluer la difficulté opératoire grâce aux reconstructions en 3D (appelées 3D transparent) créées par le logiciel et grâce à l'appréciation de la densité osseuse présente. Dès lors il peut proposer au patient les différentes solutions qui s'offrent à son cas (55).

3.1.2.4. La planification informatique

Pour la planification, le logiciel affiche sur l'écran d'ordinateur 4 fenêtres : une vue panoramique, une vue coupe axiale, une coupe coronale, ainsi qu'une reconstruction en 3D. Il permet d'étudier précisément la quantité et la densité osseuse tout autour de la future zone

implantaire. Il reste ensuite à déterminer le type d'implant sélectionné (marque, longueur, diamètre) qui conviendra le mieux au site sélectionné.

Le logiciel permet alors de simuler le placement de l'implant sur les différentes coupes simultanément. Le 3D transparent est particulièrement utile pour vérifier les axes prothétiques entre eux et les paralléliser. Et enfin les distances de sécurité seront vérifiées entre les implants et vis-à-vis des éléments anatomiques nobles (55).

3.1.2.5. La navigation chirurgicale

3.1.2.5.1. *Le matériel*

Le système Robodent® utilise la technique optique par infra rouge pour déterminer la position de la main de l'opérateur par rapport à la mâchoire du patient. Plusieurs dispositifs sont alors nécessaires au fonctionnement de ce procédé :

- Un tracker sur le contre angle de l'opérateur.
- Un tracker sur l'arcade du patient.
- Une caméra de télémétrie infra rouge vient enregistrer tous les mouvements du contre angle.
- Un petit écran de contrôle proche de la zone d'intervention relié à la station de travail principale.

Les trackers sont sertis de billes de verre et les faisceaux infra rouges pulsés à 20 cycles par seconde viennent s'y réfléchir. Grâce à cette technique, le praticien peut obtenir la position de l'émergence de l'implant, son axe et sa profondeur exacte qui auront été prédéterminés durant la phase précédente.

Un tel système offre non seulement beaucoup de souplesse, de par l'absence de fils électriques, mais également une totale liberté d'action pour le praticien (55).

3.1.2.5.2. *Le procédé*

L'opération débute par l'initialisation du système, afin de déterminer la position « 0 » du plan d'acquisition. Cette étape se fait très simplement en positionnant le contre angle sur le tracker situé en bouche. La caméra enregistre alors la position automatiquement. Durant toute la phase chirurgicale, l'opérateur est guidé par une petite fenêtre de contrôle munie d'une

cible. Toutes les informations de cette fenêtre sont également disponibles sur un petit écran situé au plus près de l'opérateur (Figure 36) :

- Un point lumineux vert indique l'émergence du puits implantaire.
- Un point lumineux bleu indique l'axe implantaire à respecter
- Une jauge de profondeur indique progressivement la distance restante à forer et émet un signal sonore une fois cette distance atteinte.

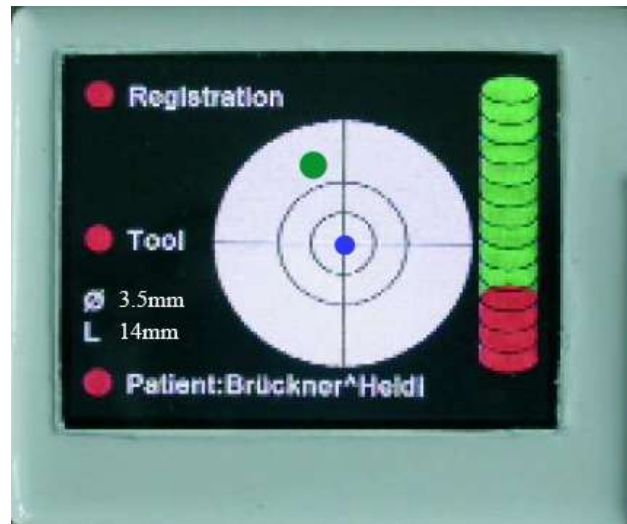


Figure 36 : Panneau de contrôle indiquant l'axe (point bleu), la profondeur (jauge verte et rouge) et l'émergence du forage implantaire (vert) (55).

Une fois l'instrument positionné convenablement au point d'émergence de l'implant et au bon axe, la cible de l'écran de contrôle devient verte, ce qui indique à l'opérateur qu'il peut commencer l'intervention.

3.1.3. Conclusions

Les techniques de navigation offrent en opposition à l'utilisation de guides chirurgicaux, une vue en temps réel du forage implantaire, et surtout la possibilité à tout moment d'intervenir sur le projet établi pour l'adapter à une complication éventuelle. Elles offrent donc beaucoup plus de liberté au praticien.

Dans la majorité des cas, l'utilisation de guides chirurgicaux sera préférée à la navigation pour leur simplicité de mise en œuvre. Cependant la navigation chirurgicale trouve un grand intérêt dans les cas complexes où la stabilisation d'un guide chirurgical peut être très délicate à assurer (47):

- implants extra oraux.

- implants ptérygoïdiens et zygomatiques (36).
- forte déhiscence osseuse (12).

Mais il faut également mettre sur l'autre côté de la balance les inconvénients non négligeables qu'impose cette technique (47):

- Une plus forte complexité et dextérité nécessaire de la part du praticien (11).
- Une précision dépendante de la qualité de l'imagerie réalisée, du positionnement et du nombre de marqueurs utilisés (31).
- Le coût élevé des équipements et surtout de la maintenance associée (pour exemple, le logiciel Robodent® coûte 2990 euros).
- La complexité d'obtenir un système qui solidarise le patient à l'appareillage sans être trop invasif.

3.2. La robotique

Le premier patient traité par un robot a été admis à l'hôpital un 11 avril 1985 pour une suspicion de lésion cérébrale. Le chirurgien utilisa alors un robot qui a réalisé une biopsie cérébrale stéréotactique (37). Dès lors l'utilisation de dispositifs robotisés a connu une forte progression en médecine et notamment en neurochirurgie, chirurgie orthopédique ou micro-invasive, laparoscopie, radiothérapie. Le principe est donc que l'opérateur reste plus ou moins passif vis-à-vis de la machine qui va réaliser l'acte à sa place mais sous sa surveillance. Leur adaptation à l'implantologie dentaire est encore quasi inexistante. Néanmoins, la chaîne d'étapes est similaire à toute chirurgie assistée par ordinateur, à savoir (37) :

- une acquisition des données (radiographie)
- un reformatage de ces données afin de pouvoir les interpréter
- une planification et une simulation
- la réalisation de la planification

Les robots peuvent donc servir à différents niveaux de l'assistance à la chirurgie et peuvent y exercer différents rôles.

3.2.1. La simulation

L'entraînement des chirurgiens ou futurs chirurgiens s'est longtemps cantonné à l'utilisation de simulateurs informatiques. Depuis quelques années, des simulateurs robotisés permettent d'acquérir une sensation tactile ô combien précieuse dans toutes les disciplines chirurgicales. Notons alors l'utilisation du Knee-simulator® en orthopédie et le VEST® en gastro-entérologie (37).

3.2.2. Le diagnostic

Des robots capables de tenir et de manipuler une sonde existent. Cette sonde peut alors être manipulée et contrôlée à distance afin de détecter toute anomalie suspecte. D'autres systèmes permettent de mesurer le pouls au niveau du poignet. Le « BloodHot », un système similaire, permet d'assister une prise de sang grâce à la palpation d'une veine (37).

3.2.3. Le repérage

La détermination précise de la localisation de structures anatomiques ou pathogéniques est primordiale en neurochirurgie. Comme nous l'avons vu précédemment, cette discipline donne de plus en plus de place à la robotique qui lui offre de nouvelles perspectives de diagnostic. La robotique permet également en chirurgie orthopédique la mise en place de broches avec un haut degré de précision dans des opérations de hanche (73).

3.2.4. La chirurgie robotisée

Deux types de systèmes se distinguent dans cette approche chirurgicale pure. D'un côté, les systèmes dit de « télémanipulation » qui concernent les robots non préprogrammés. Et d'un autre côté, les robots chirurgicaux préprogrammés (37).

3.2.4.1. La télémanipulation

Le principe est qu'à partir d'une console dite « maître », le chirurgien va effectuer divers mouvements à l'aide de manettes et pédales qui vont être copiés sur une console dite « esclave », auprès du patient où se situe le robot. Le chirurgien peut donc effectuer une opération à distance du patient grâce au robot qui va reproduire fidèlement tous ses gestes à la lettre. L'opérateur observe alors la situation clinique en temps réel à l'aide d'une vision

binoculaire qui lui offre une vue en 3D du champ opératoire du patient qui peut se trouver à des milliers de kilomètres de lui.

La connexion entre les deux consoles doit être exemplaire en terme de fiabilité et de rapidité pour éviter tout décalage temporel.

Cette technique peut être utilisée soit directement pour pratiquer une intervention, soit pour guider et accompagner un autre chirurgien sur place : cela s'appelle le télécampagnonnage. Seul le chirurgien présent près du patient peut effectuer l'acte opératoire. Mais le second chirurgien va seconder le premier à l'aide de messages vocaux ou de fléchage transmis sur un écran vidéo. Cela permet de faciliter la formation de chirurgiens aux nouvelles techniques (37).

3.2.4.2. Les robots préprogrammés

Dans ce cas là, c'est bien le robot qui réalise l'acte opératoire sans suivre les gestes d'un chirurgien. Cependant le robot est contrôlé par le chirurgien qui peut à tout moment l'arrêter.

De tels robots sont guidés à la fois par les images pré-opératoires et par le plan de traitement établi qui ne doit normalement pas être changé.

Il est donc nécessaire que ces données pré-opératoires restent identiques en per-opératoire.

La chirurgie maxillo-faciale, orthopédique, la neurochirurgie et la radiothérapie utilisent ce type de technique.

Le rôle du chirurgien revient donc à superviser la procédure. La précision d'un bras robotisé est en effet supérieure à celle de la main humaine : 10 μ m pour le robot contre 70 μ m pour l'homme (37).

3.2.5. Conclusions

Ces systèmes robotisés offrent donc de nombreux avantages :

- Une précision accrue, des vibrations en moins et donc moins d'erreur de manipulation
- Un temps de réaction de l'ordre de la milliseconde
- La flexibilité des bras articulés est souvent supérieure à celle du bras humain et offre plus de degré de liberté.
- Un contrôle à distance

- Les traitements sont normalement moins invasifs et donc moins traumatiques étant donné une ouverture d'accès réduite
- Une simulation pour le chirurgien débutant sans passer par le patient
- La procédure peut être enregistrée et servir de base pour l'enseignement

Bien entendu de telles techniques entraînent l'acquisition de matériel coûteux ainsi qu'un temps d'assimilation nécessaire à la compréhension de leur mise en œuvre (37).

3.3. Comparaison des systèmes

Nous allons maintenant présenter diverses études visant à comparer deux techniques de pose d'implant assisté par ordinateur : la navigation et l'utilisation de guide chirurgicaux.

3.3.1. Etude de Jörg Ruppin et coll en 2006

3.3.1.1. Descriptif

Ruppin et son équipe ont publié en 2006 une étude visant à évaluer la précision de trois systèmes d'aide à la chirurgie implantaire : deux utilisant le principe de la navigation chirurgicale et un utilisant des guides chirurgicaux. Pour ce faire il convient de calculer les erreurs qui existent entre la planification et la position finale des implants posés sur le patient. Ces erreurs peuvent être directement ou indirectement liées au dispositif (58) :

	Guide chirurgical	Navigation chirurgical
Erreurs intrinsèques au système	<ul style="list-style-type: none"> - Résolution du scanner - Conversion des données numériques - Planification informatique - Fabrication du guide 	<ul style="list-style-type: none"> - résolution du scanner - Conversion des données numériques - Planification informatique - Enregistrement des données - Dispositif de pistage
Erreurs extrinsèques au système	<ul style="list-style-type: none"> - Positionnement du guide - Mouvement du guide lors de la phase opératoire 	<ul style="list-style-type: none"> - Non respect par l'opérateur de l'axe indiqué par le logiciel

Tableau 13 : Etude de Ruppin et coll (2008) ; erreurs possibles avec l'utilisation de systèmes informatisés d'aide à la chirurgie.

Cette étude in vivo est réalisée sur 20 mandibules de cadavres humains. Ces mâchoires présentent des arcades totalement et partiellement édentées afin de se rapprocher le plus possible de cas réels. Une fois sélectionnées, elles sont montées sur une plaque en résine acrylique, ce qui permet de leur assurer une position totalement reproductible lors du scanner.

Des disques en acier de 1mm de diamètre en guise de marqueurs sont positionnés à la fois sur les mâchoires et les plaques de résines. Ils permettront de faire des mesures pré et post opératoires (58).

3.3.1.2. *Matériel*

Les mandibules ont toutes été passées au même scanner de haute résolution : Somatom plus 4, Siemens AG, Erlangen, Germany. Les mandibules ont donc été divisées ensuite en 3 groupes bénéficiant chacun d'un système différent :

- Simplant One Shot® software (Materialise Medical, Leuven Belgium)
- RoboDent LapDoc Accedo® software (RoboDent GmbH, Berlin, Germany)
- Artma Virtual Patient® software (Baumgartner & Rath, Munich, Germany)

40 implants de même type ont ensuite été mis en place dans chaque groupe : Branemark MK II (Nobel Biocare) (58)

3.3.1.2.1. *Simplant Oneshot®*

Une fois la planification du premier groupe réalisée à l'aide du logiciel Materialise, les données sont envoyées au centre Materialise qui va confectionner trois SurgiGuide à appui osseux par la technique de stéréolithographie pour chaque mandibule. Chacun dispose de tubes métalliques de diamètres différents permettant le passage de tous les forets nécessaires à la pose des implants (58).

3.3.1.2.2. *Artma Virtual Patient® software et Robodent LapDoc Accedo®*

Les 2 systèmes de navigation ont en commun la technique de traçage par infrarouge utilisant des marqueurs infrarouges placés à la fois sur la mandibule et l'instrument

opérateur. Avec le système Artma Virtual Patient®, les marqueurs sont représentés par des disques plastiques rétro-réfléchissants de 11,5mm de diamètre (NDI Polaris Waterloo, Canada). Le système RoboDent utilise quant à lui des verres sphériques d'un diamètre de 10mm. Ces 2 systèmes utilisent le même scanner infra-rouge stéréoscopique (NDI Polaris) (58).

3.3.1.3. Résultats

Une fois tous les implants positionnés dans les 3 groupes, un second CT scan est réalisé. Grâce aux marqueurs positionnés précédemment sur les mandibules et leur plaque de support, il devient alors possible de confronter les données pré et post-opératoires. Il s'agit donc de comparer la position de 2 points sur l'implant : son émergence et son apex.

Les données ont ensuite été interprétées par le logiciel statistique KruskalWallis-ANOVA. Le risque relatif de cette étude est ramené à 5%. Ce qui équivaut à dire que les résultats obtenus seront jugés significatifs s'ils corréleront à 95% (58).

3.3.1.3.1. *Simplant Oneshot®*

Le tableau ci dessous récapitule les erreurs observées au niveau du point d'émergence de l'implant, de son axe et enfin de la profondeur à laquelle il a été inséré. 3 données statistiques illustrent ces résultats : la moyenne, la médiane et l'écart type.

Pour rappel, la médiane situe la valeur pour laquelle 50% des mesures se trouvent au dessus et 50% en dessous. Quant à l'écart type il représente l'écart moyen observé entre 2 valeurs. Il permet donc de mieux apprécier l'échantillon en tenant compte des extrêmes (58).

	moyenne	médiane	Ecart type
Point d'émergence	1,5mm	1,2mm	0,8mm
profondeur	0,6mm	0,5mm	0,4mm
Axe	7,9°	6,7°	5°

Tableau 14 : Etude de Ruppin et coll (2008) ; déviations observées entre la planification à l'aide du système Simplant et la réalité clinique.

3.3.1.3.2. Robodent LapDoc Accedo®

	moyenne	médiane	Ecart type
Point d'émergence	1 mm	1,1 mm	0,5 mm
Profondeur	0,6 mm	0,6 mm	0,3 mm
Axe	8,1°	8,5°	4,6°

Tableau 15 : Etude de Ruppin et coll (2008) ; déviations observées entre la réalité et la planification à l'aide du système RoboDent.

3.3.1.3.3. Artma Virtual Patient® software

	moyenne	médiane	Ecart type
Point d'émergence	1,2 mm	1,3 mm	0,6 mm
Profondeur	0,8 mm	0,7 mm	0,7 mm
Axe	8,1°	8°	4,9°

Tableau 16 : Etude de Ruppin et coll (2008) ; déviations observées entre la réalité et la planification à l'aide du système Artma Virtual Patient®.

3.3.1.4. Discussion

Au vu des résultats, la première constatation ne fait pas apparaître de différence significative entre les 3 groupes. Les résultats sont quasi similaires quelque soit le procédé utilisé. Il faut tout de même mettre en relation ces résultats avec leur contexte. En effet dans le cas du système Siplant SurgiGuide, une des plus grandes sources d'erreur réside dans le positionnement du guide. Cela est à la fois dépendant de la qualité et de la régularité de la surface osseuse, mais également de la possibilité de bien visualiser et contrôler son positionnement. Il s'avère évident que dans une étude comme celle-ci avec une mandibule que l'on peut manipuler sans difficulté, son positionnement ainsi que le contrôle visuel de sa stabilité en sont d'autant plus facilités. Autre point à signaler, le système Siplant permet certes de guider un forage implantaire précisément grâce au SurgiGuide, mais celui-ci n'est pas présent lors de l'insertion de l'implant. Ce qui peut être une source supplémentaire d'erreur (68).

Concernant les systèmes de navigation, Schermeier explique que le tremblement naturel de l'homme ajouté aux défauts de perception de l'opérateur engendre des déviations supplémentaires de l'ordre de 0,25mm et à 0,5°.

Récemment certains dispositifs de traceurs infra rouges offrent de nouveaux outils servant à enregistrer les déviations de l'opérateur lors d'un protocole de navigation. Cependant bien que cela puisse aider à mesurer les erreurs inhérentes au chirurgien cela ne permet en aucun cas de calculer les erreurs dues au dispositif lui-même (17).

Concernant les résultats observés entre la planification et les mesures réalisés cliniquement, il faut souligner un point important concernant la définition du cliché scanner : en effet la précision des données interprétées est directement dépendante de la résolution même du scanner. Dans cette étude, le scanner possède une résolution de 0,3 x 0,3 x 1mm, ce qui donne des coupes axiales et coronales tous les 0,3mm et des coupes panoramiques espacées de 1mm. Il va sans dire que l'irradiation induite par ce système d'imagerie est elle-même en corrélation directe avec la finesse des coupes (58). Certains auteurs suggèrent donc une limitation de la résolution du scanner pour l'utilisation clinique de tels systèmes informatisés. Ce qui nous ramène une fois de plus à l'intérêt indéniable du cone beam étant donné sa très faible irradiation induite et sa qualité de définition très proche de celle du scanner : en effet la dose d'irradiation a pu être mesurée à 8 fois inférieure à une technique de scanner classique couplée à l'informatique (40).

Nous concluons d'après cette étude *in vivo*, que la précision du transfert d'un protocole de planification n'est aujourd'hui pas dépendante du système utilisé. Cependant l'utilisation de guide chirurgicaux nous semble plus apte à éviter tout risque d'atteinte d'éléments anatomiques nobles comme le nerf alvéolaire inférieur ou le sinus maxillaire pour ne citer qu'eux. Mais la recherche se poursuit et de nouveaux systèmes de traceurs optiques appelés « contrôle de navigation » proposent au chirurgien de stopper la mécanique de l'instrument de forage, lorsque l'implant sera jugé en mauvaise position par rapport au schéma établi (58).

3.3.2. Etude de Mischkowski et coll. en 2006

3.1.1 Descriptif

Comme la précédente étude, il s'agit de comparer deux techniques différentes d'aide informatisée à la planification et à la pose d'implants. La navigation dite « technique dynamique » et l'utilisation de guides chirurgicaux dite en opposition « technique statique ». 206 patients ont été sélectionnés entre août 1999 et décembre 2005 pour la pose de 746 implants (47).

	Nombre de patients traités	Nombre d'implants posés	Pourcentage d'implants posés	
Med3D®	142	501	67,2%	82%
CoDiagnostiX®	21	78	10,5%	
Simplant®	5	32	4,3%	
RoboDent®	20	71	9,5%	18%
VectorVision ² ®	18	64	8,6%	

Tableau 17 : Etude de Mischkowski et coll (2006) ; récapitulatif du nombre de patient traités et d'implants posés par système.

3.1.2 Matériel

Des systèmes différents sont utilisés dans cette étude. Concernant la navigation chirurgicale, les systèmes RoboDent® et Vectorvision²® ont été choisis. En ce qui concerne les systèmes usant de guides, 3 sont utilisés : Med3D®, CoDiagnostiX/gonyX® et Siplant® que nous avons étudiés plus en détail précédemment.

Une fois l'imagerie réalisée, les données sont enregistrées pour tous les systèmes sous le même format DICOM 3.0.

Les systèmes Med3D® et CoDiagnostiX® réutilisent le guide radiologique pour le transformer en guide chirurgical, contrairement au système Siplant® qui bénéficie d'un guide chirurgical réalisé par stéréolithographie à partir des données numériques enregistrées (47).

3.1.3 Résultats

Sur les 746 implants, 38 sont des implants extra oraux pour la fixation d'épithèses. Ils ont tous sans exception été posés avec l'utilisation du système VectorVision²®.

Et concernant les 708 implants intra oraux restants, 4 ont été insérés dans les processus zygomatiques de 2 patients. Chacun de ces deux patients a bénéficié d'un protocole de navigation différent pour la pose de deux implants zygomatiques (47).

	Nombre d'implants perdus à 6 mois	Pourcentage d'implants perdus à 6 mois
Med3D®	8	1,31%
CoDiagnostiX®		
Simplant®		
RoboDent®	4	2,96%
VectorVision ² ®		

Tableau 18 : Etude de Mischkowski et coll (2006) ; récapitulatif du nombre d'implant perdu à 6 mois par système.

Durant toutes ces procédures aucune complication autre que la perte des 12 implants (lésion du nerf alvéolaire inférieur, mutilation de dents adjacentes, perforation sinusienne) n'a été constatée.

3.1.4 Discussion

Il paraît important de souligner que cette étude ne montre pas en détail, contrairement aux études précédentes, les mesures précises des déviations observées entre la planification et la réalité clinique. D'un autre côté, il semble assez hasardeux de pouvoir conclure en la supériorité d'une technique par rapport à une autre, étant donné que le nombre d'implants posés avec les techniques dites statiques est près de 5 fois supérieur à celui des techniques dites dynamiques.

Les avantages des techniques statiques avec utilisation de guides sont évidemment une approche claire et simple avec une aide rigide à la pose d'implant (le guide chirurgical) qui

évite toute déviation. Elles ne nécessitent pas d'équipements supplémentaires. Mais d'un autre côté cela ne laisse que très peu de liberté au chirurgien pour modifier son plan de traitement en cours d'opération. Dans la majorité des cas, ces techniques seront préférées à la navigation chirurgicale pour leur relative simplicité de mise en œuvre.

Conclusion

L'utilisation de l'informatique ne doit plus aujourd'hui être perçue comme un gadget étant donné les nombreux avantages qu'elle procure au chirurgien. Et même si l'utilisation de guides chirurgicaux s'est banalisée de nos jours, les guides assistés par ordinateur offrent un réel plus.

En effet, au niveau de la phase pré-chirurgicale, un système d'imagerie sectionnelle couplé à un logiciel informatique de reconstruction permet de visualiser avec précision les sites implantaires, de prévoir le nombre et la position des implants à poser sur un écran informatique. Au vu de ces informations, la prise de décision thérapeutique peut grandement changer avec l'utilisation de l'assistance informatisée par rapport aux méthodes plus conventionnelles. A ce titre il faut signaler que dans la plupart des études présentées dans cette thèse, la technique d'imagerie choisie était le scanner. Cette technique d'imagerie est considérée comme la technique de référence à l'heure actuelle, même si son irradiation induite n'est pas à négliger lors de la prise de décision. D'où l'intérêt grandissant de nombreux auteurs envers la technique du cone beam qui avec une irradiation 3 à 7 fois inférieure offre des qualités similaires au scanner. Gageons que cette technique devrait se développer de plus en plus dans les années à venir étant donné les récentes considérations prises en matière de radioprotection. Cependant, à l'heure actuelle tous les modèles ne permettent pas une acquisition complète des arcades du patient.

Au niveau de la phase chirurgicale, deux techniques s'affrontent aujourd'hui : l'utilisation de guides chirurgicaux fabriqués à l'aide d'outils informatiques, et la navigation chirurgicale. Les guides chirurgicaux permettent comme nous avons pu le voir un transfert très précis du plan de traitement par le biais d'un guide muni de cylindres métalliques au travers desquels les forets seront utilisés. Cela allie à la fois une justesse du geste opératoire sans risque de déviation ainsi qu'une chirurgie très peu invasive. D'un autre côté le point noir de ce genre de technique réside dans le bon positionnement et surtout la stabilité du guide lors

de l'intervention. La navigation chirurgicale a pour atout la possibilité de modifier à tout moment le plan de traitement, pour quelle que raison que ce soit. Mais en contre partie le geste du chirurgien n'est pas à l'abri de déviations par rapport au plan de traitement établi et le système est très dépendant (encore plus que dans les cas de guides chirurgicaux assistés par ordinateur) de la qualité de l'imagerie. Nous avons pu voir tout au long des études présentées précédemment que ces deux systèmes se révèlent être fiables et précis mais non sans faille. En effet plusieurs études ont montré des résultats avec des pourcentages d'échec implantaire bien supérieurs à ceux rencontrés avec des techniques traditionnelles de pose d'implant. Néanmoins il faut pondérer ces résultats avec la difficulté inhérente aux cas cliniques pris en charge lors de ces études qui auraient bien souvent rendu très délicat la pose de ces implants sans l'assistance informatique. De surcroît, ces deux techniques occasionnent un surcoût non négligeable par rapport aux techniques conventionnelles d'implantologie. Le chirurgien doit donc peser le pour et le contre avant de décider d'employer de tels systèmes. C'est pourquoi, ils sont pour le moment réservés aux cas complexes (fortes déhiscences osseuses, arcades édentée totalement, implants ptérygoïdiens et zygomatiques).

Il semble important de souligner également les très bons résultats obtenus par des implants mis en charge immédiatement. En effet, la plupart des systèmes informatisés ne se contentent pas d'aider le praticien au niveau de la phase pré-chirurgicale et chirurgicale, puisqu'ils permettent d'élaborer une prothèse qui sera posée et mise en charge le jour même de la pose des implants. Néanmoins, il s'avère que, même si les résultats sont effectivement très probants, il faut les remettre dans leur contexte. Les conditions nécessaires à l'obtention des résultats similaires à une mise en charge différée sont plus rigoureuses : une sélection des patients (avec notamment des implants multiples), une technique parfaitement maîtrisée par l'opérateur et surtout l'obtention d'une stabilité primaire suffisante (40N/cm).

Ce procédé permet au chirurgien de gagner un temps non négligeable puisqu'une période plus ou moins longue de cicatrisation est occultée.

Même si ces systèmes sont, il est vrai encore assez lourds à mettre en place et coûteux, il n'empêche qu'ils se multiplient de plus en plus. Comme toute nouvelle technique, une fois ses preuves faites, elle ne tarde pas à se démocratiser. Ce qui va permettre dans un avenir proche de rendre plus accessibles et surtout plus faciles à utiliser tous ces systèmes encore réservés à des cas particuliers.

Bibliographie

1. ABBO B et RAZZOOG ME.

Restoring the partially edentulous patient in the aesthetic zone: computer-guided implant surgery.

Dent Today 2007;**26**(7):138-140.

2. ANAES.

La chirurgie assistée par ordinateur. Rapport d'étape.

Paris : ANAES, 2002.

3. AUTORITE DE SURETE NUCLEAIRE.

Législation.

<http://www.asn.fr>

4. AZARI A et NIKZAD S.

Flapless implant surgery: review of the literature and report of 2 cases with computer-guided surgical approach.

J Oral Maxillofac Surg 2008;**66**(5):1015-1021.

5. AZARI A, NIKZAD S et KABIRI A.

Using computer-guided implantology in flapless implant surgery of a maxilla: a clinical report.

J Oral Rehabil 2008;**35**(9):690-694.

6. BALSHE SF, WOLFINGER GJ et BALSHE TJ.

Surgical planning and prosthesis construction using computed tomography, CAD/CAM technology, and the Internet for immediate loading of dental implants.

J Esthet Restor Dent 2006;**18**(6):312-323.

7. BELLAICHE N.

Le scanner dentaire : principes, techniques, dosimétrie et indications.

<http://www.dentalespace.com/dentiste/formation/19-scanner-dentaire-principe-technique-dosimetrie-indications.htm>

8. BERGKVIST G, SAHLHOLM S, KARLSSON U et coll.

Immediately loaded implants supporting fixed prostheses in the edentulous maxilla: a preliminary clinical and radiologic report.

Int J Oral Maxillofac Implants 2005;**20**(3):399-405.

9. CAMARILLO DB, KRUMMEL TM et SALISBURY JK Jr.

Robotic technology in surgery: past, present, and future.

Am J Surg 2004;**188**(4A Suppl):2S-15S.

10. CANNIZZARO G, LEONE M et ESPOSITO M.

Immediate functional loading of implants placed with flapless surgery in the edentulous maxilla: 1-year follow-up of a single cohort study.

Int J Oral Maxillofac Implants 2007;**22**(1):87-95.

11. CASAP N, WEXLER A, PERSKY N et coll.

Navigation surgery for dental implants: assessment of accuracy of the image guided implantology system.

J Oral Maxillofac Surg 2004;**62**(9 Suppl 2):116-119.

12. CASAP N, WEXLER A et TARAZI E.

Application of a surgical navigation system for implant surgery in a deficient alveolar ridge postexcision of an odontogenic myxoma.

J Oral Maxillofac Surg 2005;**63**(7):982-988.

13. CAVEZIAN R.

Évolution historique du concept implantaire : passé, présent et futur des moyens prédictifs d'imagerie.

Actes. Société française d'histoire de l'art dentaire, 2007, 12.

http://www.ordredesdentistesduquebec.qc.ca/publications/images/pdf/Editorial_2007_09_Fr.pdf

14. CHANAVAZ M.

Incidence de l'état de santé sur la pérennité des implants et la reconstruction osseuse.

Implantologie 1998.

http://www.adf.asso.fr/cfm/site/thesaurus/detail_conference.cfm?rubrique_origine=47&conference=40/1998&langue=en

15. DEGIDI M, PIATELLI A, FELICE P et CARINCI F.

Immediate functional loading of edentulous maxilla: a 5-year retrospective study of 388 titanium implants.

J Periodontol 2005;**76**(6):1016-1024.

16. ESPOSITO M, GRUSOVIN MG, WILLINGS M et coll.

The effectiveness of immediate, early, and conventional loading of dental implants: a Cochrane systematic review of randomized controlled clinical trials.

Int J Oral Maxillofac Implants 2007;**22**(6):893-904.

17. EWERS R, SCHICHO K, TRUPPE M et coll.

Computer-aided navigation in dental implantology: 7 years of clinical experience.

J Oral Maxillofac Surg 2004;**62**(3):329-334.

18. FORTIN T, ISIDORI M, BLANCHET E et coll.

An image-guided system-drilled surgical template and trephine guide pin to make treatment of completely edentulous patients easier: a clinical report on immediate loading.

Clin Implant Dent Relat Res 2004;**6**(2):111-119.

19. FORTIN T, BOSSON JL, COUDERT JL et ISIDORI M.

Reliability of preoperative planning of an image-guided system for oral implant placement based on 3-dimensional images: an in vivo study.

Int J Oral Maxillofac Implants 2003;**18**(6):886-893.

20. FORTIN T.

Le bilan préimplantaire.

Pluridisciplinaire - 2007.

http://www.adf.asso.fr/cfm/site/thesaurus/detail_conference.cfm?rubrique_origine=47&conference=32/2007

21. GALANIS CC, SFANTSIKOPOULOS MM, KOIDIS PT et coll.

Computer methods for automating preoperative dental implant planning: implant positioning and size assignment.

Comput Methods Programs Biomed 2007;**86**(1):30-38.

22. GANZ SD.

Presurgical planning with CT-derived fabrication of surgical guides.

J Oral Maxillofac Surg 2005;**63**(9 Suppl 2):59-71.

23. GANZ SD.

CT-derived model-based surgery for immediate loading of maxillary anterior implants.

Pract Proced Aesthet Dent 2007;**19**(5):311-318; quiz 320, 302.

24. GARG AK.

Implant surgical templates in implant dentistry: NobelGuide.

Dent Implantol Update 2007;**18**(4):25-28.

25. GAUDY JF.

Os maxillaire : morphologie et sinus maxillaire

In : GAUDY JF, CANNAS B, GILLOT L et coll, ed. Atlas d'anatomie implantaire.

Issy-les-Moulineaux : Masson, 2006a:3-34.

26. GAUDY JF.

Région ptérygo-palato-tubérositaire.

In : GAUDY JF, CANNAS B, GILLOT L et coll, ed. Atlas d'anatomie implantaire.

Issy-les-Moulineaux : Masson, 2006b:35-51.

27. GAUDY JF.

Mandibule : morphologie et croissance.

in : GAUDY JF, CANNAS B, GILLOT L et coll, ed. Atlas d'anatomie implantaire.

Issy-les-Moulineaux : Masson, 2006c:137-160.

28. GAUTHIER R.

Histoire de l'implantologie.

<http://pagesperso-orange.fr/robert.gauthier/histoire.htm>

29. GAUTHIER R et MORIN A.

Anatomie appliquée à l'implantologie.

Saint Etienne : Dumas, 1998.

30. GLAUSER R, LUNDGREN AK, GOTTLLOW J et coll.

Immediate occlusal loading of Brånemark TiUnite implants placed predominantly in soft bone: 1-year results of a prospective clinical study.

Clin Implant Dent Relat Res 2003;**5**(Suppl 1):47-56.

- 31. HOFFMANN J, WESTENDORFF C, GOMEZ-ROMAN G et coll.**
Accuracy of navigation-guided socket drilling before implant installation compared to the conventional free-hand method in a synthetic edentulous lower jaw model.
Clin Oral Implants Res 2005;**16**(5):609-614.
- 32. HAUTE AUTORITE DE SANTE.**
Condition de réalisation des actes d'implantologie orale : environnement technique, 2008.
<http://www.has-sante.fr>
- 33. HOLTST S, BLATZ MB et EITNER S.**
Precision for computer-guided implant placement: using 3D planning software and fixed intraoral reference points.
J Oral Maxillofac Surg 2007;**65**(3):393-399.
- 34. IMACAM 2007.**
Informations sur les examens - La radiologie dentaire.
<http://www.radiologie34.com/examens-radiologie-dentaire-herault-34.php>
- 35. JABERO M et SARMENT DP.**
Advanced surgical guidance technology: a review.
Implant Dent 2006;**15**(2):135-142.
- 36. KLUG C, SCHICHO K, PLODER O et coll.**
Point-to-point computer-assisted navigation for precise transfer of planned zygoma osteotomies from the stereolithographic model into reality.
J Oral Maxillofac Surg 2006;**64**(3):550-559.
- 37. KORB W, MARMULLA R, RACZKOWSKY J et coll.**
Robots in the operating theatre--chances and challenges.
Int J Oral Maxillofac Surg 2004;**33**(8):721-732.
- 38. KUPEYAN HK, SHAFFNER M, ARMSTRONG J et coll.**
Definitive CAD/CAM-guided prosthesis for immediate loading of bone-grafted maxilla: a case report.
Clin Implant Dent Relat Res 2006;**8**(3):161-167.
- 39. LOMASNEY LM et STEINBERG MJ.**
Computerized imaging before patients undergo dental implantation.
AJR Am J Roentgenol 1999;**172**(5):1439-1446.
- 40. LUDLOW JD, DAVIES-LUDLOW LE et BROOKS SL.**
Dosimetry of two extraoral direct digital imaging devices: NewTom cone Beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit.
Dentomaxillofac Radiol 2003;**32**(4):229-234.
- 41. MALO P, RANGERT B et NOBRE M.**
All-on-4 immediate-function concept with Brånemark System implants for completely edentulous maxillae: a 1-year retrospective clinical study.
Clin Implant Dent Relat Res 2005;**7**(Suppl 1):S88-94.

42. MARCHACK CB.

CAD/CAM-guided implant surgery and fabrication of an immediately loaded prosthesis for a partially edentulous patient.

J Prosthet Dent 2007;**97**(6):389-394.

43. MARMULLA R, HILBERT M et NIEDERDELLMANN H.

Inherent precision of mechanical, infrared and laser-guided navigation systems for computer-assisted surgery.

J Craniomaxillofac Surg 1997;**25**(4):192-197.

44. MARMULLA R, MUHLING J, LUTH T et coll.

Advanced surface-recording techniques for computer-assisted oral and maxillofacial surgery.

Br J Oral Maxillofac Surg 2004;**42**(6):511-519.

45. MATERIALISE DENTAL (laboratoire).

SurgiGuide Cookbook.

<http://www.Simplant.com>

46. MATERIALISE DENTAL (laboratoire).

The platform to perfection Simplant.

Logiciel de demonstration SimPlant Oneshot 10.06.

47. MISCHKOWSKI RA, ZINSER MJ, NEUGEBAUER J et coll.

Comparison of static and dynamic computer-assisted guidance methods in implantology.

Int J Comput Dent 2006;**9**(1):23-35.

48. NG FC, HO KH et WEXLER A.

Computer-assisted navigational surgery enhances safety in dental implantology.

Ann Acad Med Singapore 2005;**34**(5):383-388.

49. NOBEL BIOCARE (laboratoire).

Protocoles & produits – optimisés par Procera®. NobelGuide®, Concept.

<http://www.nobelbiocare.com>

50. OSTMAN PO, HELLMAN M et SENNERBY L.

Direct implant loading in the edentulous maxilla using a bone density-adapted surgical protocol and primary implant stability criteria for inclusion.

Clin Implant Dent Relat Res 2005;**7** (Suppl 1):S60-S69.

51. PALACCI P.

Mise en charge immédiate ou retardée: Données actuelles. Traitement esthétique du maxillaire antérieur à l'aide d'implants: Impératifs chirurgicaux et prothétiques.

<http://www.ao-r21.org/1confpalacci.p1.html>

52. PAREL SM et TRIPLETT RG.

Interactive imaging for implant planning, placement, and prosthesis construction.

J Oral Maxillofac Surg 2004;**62**(Suppl 2):41-47.

53. ROBBIANI E.

Procera® software et Nobel Guide®. 1^{ère} partie : principes et intérêts de la technique.
Cah Prothèse 2005;132:71-73.

54. ROBBIANI E.

Procera® software et Nobel Guide®. 2^{ème} partie : application clinique.
Cah Prothèse 2006;133:65-68.

55. ROCHE JL.

Robotique en implantologie, la navigation « robodent ».
T.A.P ALPHA OMEGA News n°105 novembre 2006.
<http://www.robodent.fr/TAP%20AO-robodent.pdf>

56. ROSENFELD AL, MANDELARIS GA et TARDIEU PB.

Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 1: diagnostics, imaging, and collaborative accountability.
Int J Periodont Rest Dent 2006a;26(3):215-221.

57. ROSENFELD AL, MANDELARIS GA et TARDIEU PB.

Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 2: rapid-prototype medical modeling and stereolithographic drilling guides requiring bone exposure.
Int J Periodont Rest Dent 2006b;26(4):347-353.

58. RUPPIN J, POPOVIC A, STRAUSS M et coll.

Evaluation of the accuracy of three different computer-aided surgery systems in dental implantology: optical tracking vs. stereolithographic splint systems.
Clin Oral Implants Res 2008;19(7):709-716.

59. ROTHMAN SL, CHAFTEZ N, RHODES ML et SCHWARZ MS.

CT in the preoperative assessment of the mandible and maxilla for endosseous implant surgery. Work in progress.
Radiology 1988;168(1):171-175.

60. SANNA AM, MOLLY L et VAN STEENBERGHE D.

Immediately loaded CAD-CAM manufactured fixed complete dentures using flapless implant placement procedures: a cohort study of consecutive patients.
J Prosthet Dent 2007;97(6):331-339.

61. SARGON L.

L'ostéo-intégration.
In : SARGON L, SUMIYA H, HESSAM N, ed. L'implant à mise en charge immédiate.
L'implantologie esthétique du XXI^e siècle.
Paris : Quintessence, 1999:11-15.

62. SFORZA NM, FRANCHINI F, LAMMA A et coll.

Accuracy of computerized tomography for the evaluation of mandibular sites prior to implant placement.
Int J Periodont Rest Dent 2007;27(6):589-595.

- 63. SCHWARZ MS, ROTHMAN SL, CHAFETZ N et RHODES M.**
Computed tomography in dental implantation surgery.
Dent Clin North Am 1989;**33**(4):555-597.
- 64. SZMUKLER-MONCLER S, SALAMA H, REINGEWIRTZ Y et DUBRUILLE JH.**
Timing of loading and effect of micromotion on bone-dental implant interface: review of experimental literature.
J Biomed Mater Res 1998;**43**(2):192-203.
- 65. TARDIEU PB, VRIELINCK L, ESCOLANO E et coll.**
Computer-assisted implant placement: scan template, simplant, surgiguide, and SAFE system.
Int J Periodont Rest Dent 2007;**27**(2):141-149.
- 66. TEALDO T, BEVILACQUA M, PERA F et coll.**
Immediate function with fixed implant-supported maxillary dentures: a 12-month pilot study.
J Prosthet Dent 2008;**99**(5):351-360.
- 67. VAN STEENBERGHE D, YOSHIDA K, PAPAIOANNOU W et coll.**
Complete nose coverage to prevent airborne contamination via nostrils is unnecessary.
Clin Oral Implants Res 1997;**8**(6):512-516.
- 68. VAN STEENBERGHE D, MALEVEZ C, VAN CLEYNENBREUGEL J et coll.**
Accuracy of drilling guides for transfer from three-dimensional CT-based planning to placement of zygoma implants in human cadavers.
Clin Oral Implants Res 2003;**14**(1):131-136.
- 69. VAN STEENBERGHE D, GLAUSER R, BLOMBACK U et coll.**
A computed tomographic scan-derived customized surgical template and fixed prosthesis for flapless surgery and immediate loading of implants in fully edentulous maxillae: a prospective multicenter study.
Clin Implant Dent Relat Res 2005;**7**(Suppl 1):S111-S120.
- 70. VAN STEENBERGHE D.**
Historique et sémantique de la mise en charge immédiate, rapide ou différée d'implants et considérations éthiques et professionnelles.
In : VAN STEENBERGHE D, ABARCA M, MALEVEZ C et coll, ed. Réhabilitation orale immédiate ou rapide à l'aide d'implants.
Rueil-Malmaison : CdP, 2006:1-5.
- 71. VRIELINCK L, POLITIS C, SCHEPERS S et coll.**
Image-based planning and clinical validation of zygoma and pterygoid implant placement in patients with severe bone atrophy using customized drill guides. Preliminary results from a prospective clinical follow-up study.
Int J Oral Maxillofac Surg 2003;**32**(1):7-14.
- 72. WEXLER A, TZADOK S et CASAP N.**
Computerized navigation surgery for the safe placement of palatal implants.
Am J Orthod Dentofac Orthop 2007;**131**(4 Suppl):S100-105.

73. WINDER J et BIBB R.

Medical rapid prototyping technologies: state of the art and current limitations for application in oral and maxillofacial surgery.

J Oral Maxillofac Surg 2005;**63**(7):1006-1015.

74. WONG NY, HUFFER-CHAECHUT H et SARMENT DP.

Computer-aided design/computer-aided manufacturing surgical guidance for placement of dental implants: case report.

Implant Dent 2007;**16**(2):123-130.

75. YONG LT et MOY PK.

Complications of Computer-Aided-Design/Computer-Aided-Machining-Guided (NobelGuide[®]) Surgical Implant Placement: An Evaluation of Early Clinical Results.

Clin Implant Dent Relat Res 2008;**10**(3):123-127.

Table des illustrations

Figure 1 : 1 délimitation de la gencive marginale ; 2 délimitation de la gencive adhérente ; 3 délimitation de la muqueuse libre.	15
Figure 2 : Schéma d'une mandibule avec les 3 plans de coupe du scanner : plan axial en rouge, plan coronal en bleu et plan panoramique en jaune (7).	18
Figure 3 : Schémas explicatif des erreurs d'agrandissement ou de rétrécissement, des mesures dues à la déviation du plan scout de référence effectué lors d'un scanner.	19
Figure 4 : Coupe frontale de l'hémi face droite avec l'os frontal (A), l'os zygomatique (B) et l'os maxillaire (C).	22
Figure 5 : Vue médiale de l'os maxillaire droit.	22
Figure 6 : Schéma d'une mandibule avec ses différentes zones : la branche montante (A), l'angle (B), la branche horizontale (C) et la symphyse mentonnière (D).	26
Figure 7 : Mesure de la hauteur de crête disponible avant le nerf alvéolaire (point jaune) avec le logiciel Simplant® (46).	34
Figure 8 : Mesure de l'angle formé par la crête osseuse et la couronne prothétique avec le logiciel Simplant® (46).	35
Figure 9 : Densité osseuse calculée dans le cercle sélectionné avec le logiciel Simplant® (46).	35
Figure 10 : Reconstruction en 3D d'une mandibule partiellement édentée avec le logiciel Simplant® (46).	35
Figure 11 : Visualisation du trajet du nerf alvéolaire inférieur sur la reconstruction en 3D avec le logiciel Simplant® (46).	36
Figure 12 : Visualisation du trajet du nerf alvéolaire inférieur sur une coupe axiale avec le logiciel Simplant® (46).	36
Figure 13 : Visualisation du trajet du nerf alvéolaire inférieur sur la vue panoramique avec le logiciel Simplant® (46).	36
Figure 14 : Massif facial supérieur avec et sans guide radiologique grâce au système de masque du logiciel Simplant® (46).	36
Figure 15 : Planification d'un implant vue sur une série de coupes axiales avec le logiciel Simplant.® (46).	37
Figure 16 : Guide radiographique avec les marqueurs de gutta incorporés	39
Figure 17 : Reconstruction en 3D du massif facial supérieur avec le logiciel Procera®42	42
Figure 18 : Positionnement d'un implant au maxillaire à l'aide du logiciel Procera®42	42
Figure 19 : Guide chirurgical maxillaire NobelGuide® pour la pose de 6 implants avec 4 clavettes de stabilisation (remerciements au Dr. Brétéché, Nantes).	44
Figure 20 : Coupe transversale d'un guide chirurgical NobelGuide®(5) avec ses différentes composantes : Vis Pin (1) ; Guided Sleeve (2) ; Guided Cylinder (3) ; Réplique d'implant (4) (49).	44
Figure 21 : Planification du positionnement de 4 clavettes positionnées entre les implants à l'aide du logiciel Procera® (remerciements au Dr. Brétéché, Nantes).	45
Figure 22 : Guide chirurgical NobelGuide® avec les répliques d'implants positionnées45	45
Figure 23 : Modèle en plâtre et réplique de tissu mou obtenu grâce au guide chirurgical.....46	46
Figure 24 : Montage en articulateur de la réplique de la base prothétique sur le modèle en plâtre et réplique de tissu mou (Remerciements à M. Gonzin Thierry et au Dr. Brétéché, Nantes).	46
Figure 25 : Positionnement de la tête pour un scanner de la mandibule à gauche et du maxillaire à droite (45).	49
Figure 26 : Ecran de planification du logiciel Simplant® (46).	50

Figure 27 : Guide radiologique CAD Implant (Fortin et coll 2004) (Fortin et coll 2003).	52
Figure 28 : Guide radiologique CAD implant en bouche (Fortin et coll 2004).....	52
Figure 29 : Ecran de planification du logiciel CAD Implant® (Fortin et coll 2004).	53
Figure 30 : Guide chirurgical NobelGuide® en place avec le positionnement de l'index chirurgical et des clavettes (remerciements au Dr. Brétéché, Nantes).	55
Figure 31 : Forage implantaire au travers du guide chirurgical NobelGuide® et d'un manchon permettant d'ajuster le diamètre du foret au guide (remerciements au Dr. Brétéché, Nantes). 55	55
Figure 32 : Pose de 7 implants maxillaires à l'aide d'un guide chirurgical NobelGuide®	56
Figure 33 : SurgiGuide® à appui osseux (45)	59
Figure 34 : SurgiGuide® à appui dentaire (45).....	60
Figure 35 : Modèle en plâtre perforé par le bras robotisé suivant la planification établie par le logiciel CAD Implant® (Fortin et coll 2004).	63
Figure 36 : Panneau de contrôle indiquant l'axe (point bleu), la profondeur (jauge verte et rouge) et l'émergence du forage implantaire (vert) (55).	88

Table des tableaux

Tableau 1 : Tableau récapitulatif du coût et de l'irradiation de des techniques d'imagerie (7).	21
Tableau 2 : Comparaison des différents systèmes informatiques pour la planification.	54
Tableau 3 : Comparaison des différents guides chirurgicaux.	64
Tableau 4 : Résultats de l'étude de Vrielinck et coll (2003) concernant la perte d'implants après un suivi de 6 mois,.....	70
Tableau 5 : Résultats de l'étude de Vrielinck et coll (2003) concernant le nombre et le type d'implant perdu.	70
Tableau 6 : Résultats de l'étude de Vrielinck et coll (2003) montrant les déviations observées entre la planification	71
Tableau 7 : Etude de Fortin et coll (2003) ; comparaison des diamètres et longueurs des implants entre la planification et la réalité clinique.	73
Tableau 8 : Etude de Fortin et coll (2003) ; confrontation entre les complications planifiées et rencontrées.	74
Tableau 9 : Etude de Gioacchino et coll (2007) ; récapitulatif des complications rencontrées.	79
Tableau 10 : Etude de Gioacchino et coll (2007) ; résultats de différentes études sur la mise en charge immédiate d'implants posés sur des arcades maxillaires totalement édentées.	80
Tableau 11 : Etude de Marco Esposito et coll (2007) ; répartition des implants posés selon l'arcade et le type de mise en charge.	82
Tableau 12 : Etude de Marco Esposito et coll (2007) ; Récapitulatif des échecs implantaire et prothétiques.	82
Tableau 13 : Etude de Ruppin et coll (2008) ; erreurs possibles avec l'utilisation de systèmes informatisés d'aide à la chirurgie.	92
Tableau 14 : Etude de Ruppin et coll (2008) ; déviations observées entre la planification à l'aide du système Siplant et la réalité clinique.	94
Tableau 15 : Etude de Ruppin et coll (2008) ; déviations observées entre la réalité et la planification à l'aide du système RoboDent.	95
Tableau 16 : Etude de Ruppin et coll (2008) ; déviations observées entre la réalité et la planification à l'aide du système Artma Virtual Patient®.	95
Tableau 17 : Etude de Mischkowski et coll (2006) ; récapitulatif du nombre de patient traités et d'implants posés par système.	97
Tableau 18 : Etude de Mischkowski et coll (2006) ; récapitulatif du nombre d'implant perdu à 6 mois par système.	98

Table des abréviations

CAD : Computer Aided Design

CAM : Computer Aided Machining

CAO : Chirurgie Assistée par Ordinateur

CBS : Communication Bucco Sinusienne

CT : Computed Tomography

DICOM: Digital Imaging For Communication in Medicine

HAS: Haute Autorité de Santé

ISQ : Implant Stability Quotient

OIM : Occlusion d'Intercuspidie Maximale

ORC : Occlusion de Relation Centrée

	THESE N°
<p>PILON Nicolas – Apport de l’informatique en implantologie buccale :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Phase pré-chirurgicale - Phase chirurgicale <p>110. ; ill. ; Tabl. ; 75 ref. ; 30 cm.-(Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2008).N°</p>	
<p><u>Résumé de la thèse</u> :</p> <p>L’implantologie occupe aujourd’hui une place importante dans la pratique courante de l’odontologie. Mais depuis quelques années déjà, l’outil informatique s’est introduit dans cette discipline aussi bien au niveau de la phase pré-chirurgicale (aide au diagnostic, à la planification), que de la phase chirurgicale (aide au geste opératoire). Plusieurs techniques basées sur des principes différents sont disponibles : les systèmes dit actifs avec l’utilisation de robots préprogrammés (encore rares en implantologie orale) ; les systèmes passifs encore appelés navigation chirurgicale, permettant un guidage en temps réel du geste opératoire qui reste libre de ses mouvements ; les systèmes semi actifs utilisant des guides chirurgicaux conçus par ordinateur. Le but de ces systèmes est bien souvent la pose d’implants mis en charge immédiatement permettant au patient de bénéficier le jour même d’une prothèse supra-implantaire.</p>	
<p><u>Rubrique de classement</u> : CHIRURGIE BUCCO-DENTAIRE</p>	
<p><u>Domaine Bibliodent</u> : IMPLANTOLOGIE</p>	
<p><u>Mots clés Bibliodent</u> : Implantologie - Chirurgie buccale – Ordinateur – Programme informatique.</p>	
<p><u>MeSH</u> : Implant dentaire, Dental implants – Technologie dentaire, Technology dental – Chirurgie, Surgery – Informatique, Automatic data processing - Ordinateur, Computers – Robotique, Robotics.</p>	
<p><u>Jury</u> :</p> <p><i>Président</i> : Monsieur le Professeur Alain JEAN</p> <p><i>Assesseurs</i> : Monsieur le Docteur Afchine SAFFARZADEH Monsieur le Docteur Sylvain LEBORGNE</p> <p><i>Directeurs de thèse</i> : <u>Monsieur le Docteur Alain HOORNAERT</u></p>	
<p><u>Adresse de l’auteur</u> :</p> <p>M Nicolas PILON – 7 bis rue Monteil – 44000 NANTES nicopil@hotmail.fr</p>	