



HAL
open science

Forage à basse vitesse sans irrigation : une nouvelle approche pour optimiser l'ostéointégration implantaire

Thomas Stéphan

► **To cite this version:**

Thomas Stéphan. Forage à basse vitesse sans irrigation : une nouvelle approche pour optimiser l'ostéointégration implantaire. Médecine humaine et pathologie. 2023. dumas-04472470

HAL Id: dumas-04472470

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04472470>

Submitted on 22 Feb 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



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

THESE

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

Présentée et publiquement soutenue devant
Aix-Marseille Université
(Président : Monsieur le Professeur Éric BERTON)

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

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

*Forage à basse vitesse sans irrigation
Une nouvelle approche pour optimiser l'ostéo-
intégration implantaire*

Présentée par

STÉPHAN Thomas

Né le 14 décembre 1998

A Aix-en-Provence

Thèse soutenue le **Mardi 28 Mars 2023**

Devant le jury composé de

Président : Professeur RUQUET Michel

Assesseurs : Docteur MENSE Chloé

Docteur SILVESTRI Frédéric

Docteur TOSELLO Alain



THESE

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

Présentée et publiquement soutenue devant
Aix-Marseille Université
(Président : Monsieur le Professeur Éric BERTON)

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

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

*Forage à basse vitesse sans irrigation
Une nouvelle approche pour optimiser l'ostéo-
intégration implantaire*

Présentée par

STÉPHAN Thomas

Né le 14 décembre 1998

A Aix-en-Provence

Thèse soutenue le **Mardi 28 Mars 2023**

Devant le jury composé de

Président : Professeur RUQUET Michel

Assesseurs : Docteur MENSE Chloé

Docteur SILVESTRI Frédéric

Docteur TOSELLO Alain

ADMINISTRATION

Doyens Honoraires

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

Directeur

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

Directeurs adjoints

Professeur	Michel RUQUET
Professeur	Anne RASKIN

Chargés de missions

Formation Initiale

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

Recherche

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

Formation Continue

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

Relations Internationales

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

Internat et Diplômes d'études spécialisées

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

Affaires générales

Docteur	Alain TOSELLO
---------	---------------

Responsable Administrative

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

PROMOTIONS :

2019 Raymond SANGIUOLO

2020 Gaston BERGER

2021 Joseph MIGOZZI

2022 Jérôme GALLION

LISTE DES ENSEIGNANTS

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS – PRATICIENS HOSPITALIERS

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

PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS

ABOUT Imad (65)

PROFESSEURS ÉMÉRITES

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

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITÉS – PRATICIENS HOSPITALIERS

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

MAITRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS ASSOCIÉS

BALLESTER Benoît (58-01)

BLANCHET Isabelle (56-01)

CASAZZA Estelle (58-01)

CHEFS DE CLINIQUE DES UNIVERSITÉS - ASSISTANTS DES HÔPITAUX

ARNIER Canelle (56-01)

BAUDINET Thomas (58-01)

BOREL Guillaume (56-02)

BRINCAT Arthur (57-01)

BROS Agnès (56-01)

CHAMAYOU Chloé (56-01)

DUPRAT Florence (56-01)

FERRE Enzo (58-01)

FOUQUES Agathe (56-01)

HAMMOUTENE Stéphane (57-01)

LAFONT Jacinthe (57-01)

OHANESSIAN Romain (57-01)

ONGHENA Tom (56-01)

PASCHEL Laura (58-01)

PRINCE Fanny (58-01)

RANCHAIN Théo (57-01)

RAYNAUD Camille (58-01)

REYNAL Florence (56-01)

ROMAO Vincent (57-01)

ROOSEN Amandine (58-01)

ROUSCOFF Eva (56-01)

SADOWSKI Camille (57-01)

STALLA Martin (58-01)

TERRER Jérémy (58-01)

VEILLARD Pierre (56-01)

CHEFFE DE CLINIQUE DES UNIVERSITÉS ASSOCIÉE

BROTONS Adèle (56-01)

Intitulés des sections CNU :

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

56-01 Odontologie pédiatrique et orthopédie dento-faciale

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

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

57-01 : Chirurgie orale – Parodontologie – Biologie orale

58^{ème} section : Réhabilitation orale

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

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

Remerciements

A mon Président de jury,

Monsieur le Professeur Michel RUQUET,

Merci pour votre bienveillance, votre bonne humeur et votre gentillesse à notre égard et vis-à-vis de nos patients ; avoir pu apprendre à vos côtés fût un réel plaisir. Je vous remercie d'avoir accepté de présider ce jury et de partager cet instant de ma vie étudiante.

A ma directrice de thèse,

Madame le Docteur Chloé MENSE,

Je vous suis très reconnaissant d'avoir accepté de diriger ce travail. Merci pour votre gentillesse, votre patience, votre disponibilité, et vos bons conseils dans la réalisation de cette thèse. Veuillez trouver ici le témoignage de mon profond respect.

A Monsieur le Docteur Frédéric SILVESTRI,

Je vous remercie d'avoir accepté de siéger dans ce jury. Même si nous n'avons pas eu l'occasion de travailler dans la même vacation, j'ai pu apprécier votre pédagogie et vos compétences dans les cours que vous nous avez dispensé. Merci pour votre enseignement plein de bon sens et de simplicité, témoins de votre expérience libérale.

A Monsieur le Docteur Alain TOSELLO,

Même si je n'ai que peu eu l'occasion de pratiquer la prothèse complète, j'ai pu apprécier vos conseils et votre grande expérience dans cette discipline lors des cours que vous nous avez prodigué et qui resteront un bon souvenir. Merci également pour votre gentillesse, votre bonne humeur et toutes les anecdotes croustillantes que vous avez partagé avec nous. C'est une joie pour moi de vous avoir à mes côtés dans ce jury.

À mon père, mon mentor

Merci pour toutes ces années où tu as été présent à chaque grand moment. Tu m'as appris plus de choses que n'importe qui, tu m'as formé pendant toutes mes années universitaires, tu m'as ouvert les portes des blocs opératoires, et tu m'as initié à l'implantologie, une discipline qui m'a conduit à réaliser ce travail. Ce projet n'est pas que le mien, c'est aussi le tien. Un fils ne peut rêver meilleur père.

À ma mère, mon plus grand soutien

D'aussi loin que je puisse me souvenir tu étais à mes côtés, dans les bons moments comme les mauvais. Dans la réussite comme dans l'échec, tu as toujours su trouver les bons mots pour me motiver à me dépasser. Tu es la mère que tous voudraient avoir.

À ma sœur,

Nous n'avons pas toujours été aimable l'un envers l'autre, il n'empêche qu'on se soutenait mutuellement quand nous avons des moments difficiles. Merci pour toutes ces petites attentions et moi aussi je te soutiens, même si tu ne le vois pas toujours.

À mes grands-parents, mes plus grands admirateurs,

Merci d'avoir été là tout ce temps, de m'avoir soutenu et encouragé. J'ai toujours pu compter sur vous et, je l'espère, pour un long moment encore, afin de partager de bons moments. Votre présence est, pour moi, une source de motivation.

À mon grand-père, aujourd'hui disparu

Quand tu disais toujours ce que tu pensais, sans filtre, mais rarement ce que tu ressentais, je n'ai su que plus tard à quel point tu étais fier. Bien que tu ne sois pas physiquement présent, je sais que tu es avec nous. Nous n'étions pas lié par le sang mais pour moi, tu es et tu seras toujours mon grand-père.

À ma marraine

Bien que séparés par la distance, tu as toujours eu une pensée pour moi, et été présente dans les moments importants. Merci d'être ma marraine.

À ma famille éloignée

Vous n'avez pas pu être présent pour ce jour mais je sais que vous êtes avec moi pour me soutenir.

À mes amies

Un grand merci à Lucie, Tania, Ève, Camille, Lina, Anfaita et Doria, pour avoir adouci ces cinq ans à la faculté et l'hôpital.

Petite mention spéciale à la vac 2 : la meilleure vacation

Amel, Anaïs, Clara, Cécile, Damien, Emma, Juliette, Laura, Marie, Nathan, Océane L.,
Océane M. et Saber

Sommaire

I. Introduction.....	1
II. Rappels : Tissus osseux et ostéo-intégration	3
II.1 Définition.....	3
II.2 Le tissu osseux.....	3
II.2.1 Histologie osseuse.....	3
II.2.1.1 Les cellules osseuses.....	3
II.2.1.2 La matrice extra-cellulaire.....	4
II.2.2 Structure du tissu osseux	4
II.2.2.1 Os cortical.....	4
II.2.2.2 Os trabéculaire	4
II.2.2.3 Le périoste.....	5
II.2.2.4 L'endoste.....	5
II.3 Effets des caractéristiques du protocole de forage sur la réponse osseuse.....	6
II.3.1 Étape 1 Phase inflammatoire.....	7
II.3.2 Étape 2 Phase de réparation et de formation du cal osseux primaire ..	7
II.3.3 Étape 3 Phase de maturation du cal primaire en cal secondaire.....	8
II.3.4 Étape 4 Phase de maintenance.....	8
II.4 La technique chirurgicale.....	10
III. Comparaison des protocoles de forages avec et sans irrigation.....	11
III.1 Protocole de forage conventionnel à haute vitesse.....	11
III.1.1 Protocole 1 : Protocole de forage conventionnel.....	17
III.1.2 Protocole 2 : Protocole de sur-forage.....	18
III.1.3 Protocole 3 : Protocole de sous-forage	19
III.2 Protocole de forage à basse vitesse.....	19
III.2.1 Implant à connectique tri-ovale N1 Nobel Biocare®.....	26
IV. Discussion.....	34
IV.1 Étude pré-cliniques.....	34
IV.2 Arguments en faveur des protocoles à basse vitesse.....	34
IV.2.1 Dommages thermiques (Chaleur, ostéonécrose, vitesse de rotation)...	34
IV.2.2 Irrigation, coagulum osseux.....	37
IV.2.3 Technique et temps.....	37
IV.2.4 Bruit.....	38
IV.2.5 Stabilité primaire, densité osseuse et prédictibilité.....	38

IV.2.6 Déformation forage.....	39
V. Cas cliniques.....	41
V.1 Cas clinique 1.....	41
VI. Conclusion.....	50
Références bibliographiques.....	I

I. Introduction

Les travaux de P.I Brånemark ⁽¹⁾ ont ouvert l'ère de l'implantologie moderne avec la découverte de l'ostéo-intégration. Depuis 50 ans, la recherche et les innovations technologiques ont visé essentiellement à étendre les indications tout en diminuant les échecs. Afin de d'améliorer l'ostéo-intégration et/ou de préserver les tissus durs et mous péri-implantaires, ces innovations ont surtout concerné l'implant lui-même, que ce soit au niveau de son état de surface ⁽²⁾, de ses formes ⁽³⁾, ou de son type de connexion ⁽⁴⁾.

Cependant, jusqu'à encore récemment, aucun système n'a cherché à améliorer l'ostéo-intégration en limitant le processus traumatisant du protocole de forage. En effet, jusqu'à présent, le protocole de forage de référence et classiquement admis consistait à réaliser une préparation grâce à une série de forets de diamètre croissant, sous irrigation constante de sérum physiologique. Malgré ce forage progressif et l'usage d'une irrigation pour limiter l'échauffement, les vitesses de rotation comprises entre 800 et 2000 Tr/min créent un traumatisme thermique et mécanique, générant une zone de mort cellulaire concomitante autour du puit de forage ⁽⁵⁾. Par ailleurs, le potentiel ostéogénique du coagulum osseux produit par le foret (broyat de copeaux d'os, de tissu conjonctif, de sang contenant des cellules souches) est en grande partie éliminé par l'action de l'irrigation.

Pour ces différentes raisons, les chercheurs et les praticiens s'intéressent de près à de nouveaux protocoles de forage réalisés à basse vitesse (20 à 50 tr/min) et sans irrigation. Cette nouvelle approche en implantologie permettrait ainsi de réduire les traumatismes liés au forage classique à grande vitesse (mort cellulaire et échauffement), d'éviter l'irrigation afin de maintenir le matériel ostéogénique, et de limiter le nombre de forets.

Dans ce travail, nous présenterons ces nouveaux protocoles de forage à basse vitesse au travers de l'étude d'un système implantaire. Dans une première partie, après de brefs rappels histologiques sur le tissu osseux, nous aborderons les protocoles de forage et les principes de cicatrisation et d'ostéo-intégration. Puis, dans une seconde partie nous présenterons les innovations en matière de stratégie de forage au travers de l'étude des caractéristiques d'un système implantaire. Enfin, avant de conclure, nous discuterons des avantages et inconvénients de ce système au travers de la

présentation de plusieurs cas clinique réalisés au sein de l'UF d'Implantologie Orale (Service Réhabilitations Orales) du Pôle Odontologie de la Timone.

II. Rappels : Tissus osseux et ostéo-intégration

II.1 Définition

« L'ostéo-intégration se définit comme une jonction anatomique et fonctionnelle directe entre l'os haversien vivant remanié et la surface de l'implant mis en charge ». (Bränemark *et al* 1985) ⁽⁶⁾

II.2 Le tissu osseux

L'os est un tissu organo-minéral qui a deux fonctions essentielles :

- rôle physiologique principalement pour le métabolisme phosphocalcique (réservoir en métabolites minéraux).
- rôle mécanique de soutien structural de l'organisme.

II.2.1 Histologie osseuse

II.2.1.1 Les cellules osseuses

Elles sont de trois types

- les ostéoblastes : responsables de la synthèse des composants de la matrice organique et de sa minéralisation. Elles forment, à la surface de l'os, une couche monocellulaire appelée « bordure ostéoïde ».
- les ostéocytes : sont des ostéoblastes piégés par le front de minéralisation au sein de lacunes appelées « ostéoplastes ». Ils présentent de nombreux prolongements cellulaires cheminant dans des canalicules de la matrice minérale et permettent une contiguïté entre eux.
- les ostéoclastes : cellules géantes, responsables de la résorption osseuse qui s'effectue grâce à des enzymes lysosomiales. Les ostéoclastes creusent ainsi des excavations dans l'os connues sous le nom de « lacunes de Howship ».

II.2.1.2 La matrice extra-cellulaire

La composition dépend des cellules dont l'activité est partiellement gouvernée par des hormones (parathormone, calcitonine, vitamine D, œstrogènes...), des facteurs de croissance (TGF-beta, ILGF, PDGF,), des facteurs mécaniques, des facteurs locaux (prostaglandines), des cytokines (interleukines, CSF, lymphokines....) et la nutrition (calcium). Cette matrice se caractérise par un tissu conjonctif secondairement minéralisé comprenant 2 phases :

- minérale : représentant 65% du poids de l'os sec. Elle se constitue de 90% de phosphate de calcium et de 10% de carbonate de calcium, sous forme de cristal d'hydroxyapatite.
- organique : prédominée par des protéines collagéniques (de type I essentiellement, III et V). Dans une moindre proportion, il s'y trouve des protéines non-collagéniques (glycoprotéines, protéoglycanes, GLA, protéines), de l'eau et de faible concentration de mucopolysaccharides (chondroïtine sulfate).

II.2.2 Structure du tissu osseux

II.2.2.1 Os cortical

C'est un tissu squelettique compact composé principalement d'os lamellaire qui s'organise en unité fonctionnelle appelée « ostéon » ou « système de Havers » défini par divers éléments :

- des lamelles osseuses concentriques autour d'un canal central (canal de Havers).
- un canal central contenant les éléments de vascularisation et d'innervation (canal de Havers).
- des canaux latéraux reliant les ostéons entre eux (canaux de Volkmann).

Le renouvellement tissulaire, lent mais constant, se réalise à partir des surfaces périostées et endostées. Sa rigidité et sa résistance lui permettent de participer à la stabilité primaire de l'implant. (Fig.1)

II.2.2.2 Os trabéculaire

C'est un tissu squelettique de faible densité. Les travées sont composées d'os lamellaire vasculaire, l'apport vasculaire provenant de la moelle adjacente. Sa masse est relativement faible mais particulièrement efficace en résistance à la compression. L'orientation des trabécules s'effectue toujours selon certaines directions bien

organisées, à des fins architecturales mécaniques et fonctionnelles. La résistance de l'os trabéculaire dépend de l'épaisseur des trabéculations, de leurs orientations et de leurs interconnexions. (Currey JD) ⁽⁷⁾

Son renouvellement est rapide et constant à partir de la surface endostée avec une possibilité de réorientation des trabéculations.

II.2.2.3 Le périoste

Il forme une interface conjonctive vivante et réactive recouvrant l'os cortical. Elle se compose de deux couches cellulaires :

- interne cellulaire, ostéogénique et richement vascularisée.
- externe fibreuse, de laquelle partent de faisceaux de fibres dites « fibres de Sharpey » traversant la couche interne pour s'ancrer dans l'os cortical lamellaire.

Lorsqu'il est altéré, la couche ostéogénique est détruite et l'apport sanguin sous-jacent est compromis. Mais son rôle ne se limite pas qu'à la croissance osseuse , son rôle vis-à-vis de la muqueuse et de la gencive attachée est tout aussi important ce qui s'illustre par l'observation des rétractions tissulaires après l'exécution de lambeau de pleine épaisseur (Roberts WB) ⁽⁸⁾.

II.2.2.4 L'endoste

Il est constitué d'une couche de cellules ostéo-progénitrices, qui tapisse les travées osseuses au niveau des parois des cavités médullaires, au contact du tissu spongieux trabéculaire ou du tissu compact haversien. Soixante-dix à 80 % de l'interface os/tissu mou se trouve à la surface endostée.

Il joue un rôle de filtre et régule les échanges entre les espaces médullaires et l'os trabéculaire.

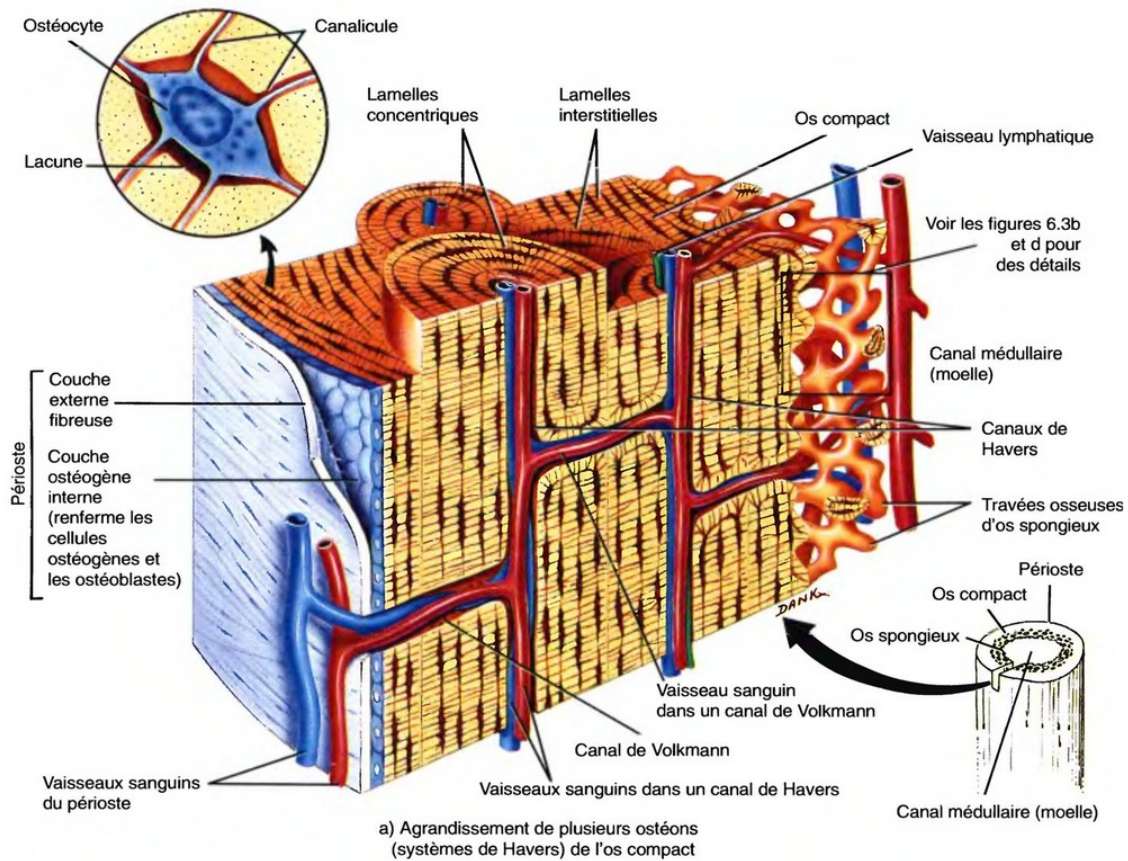


Figure 1 : Structure os cortical (Source : <http://amar-constantine.e-monsite.com/pages/cours-pour-autres-specialites/anatomie-physiologie/osteologie.html>)

II.3 Effets des caractéristiques du protocole de forage sur la réponse osseuse

Le protocole de forage classique consiste à réaliser une préparation grâce à une série de forets de diamètre croissant sous irrigation constante de sérum physiologique. Malgré tout le soin apporté à la préparation du site à implanter, une zone de nécrose périphérique apparaît inévitablement autour de ce traumatisme osseux créé chirurgicalement (Misch) ⁽⁹⁾. La surface de la zone nécrosée dépend de l'importance de la chaleur dégagée par la friction des forets et de la nature de la zone anatomique visée (degré de vascularisation...). Face à ce traumatisme, le tissu osseux peut répondre de 3 manières différentes :

- formation d'un tissu fibreux (traumatisme sévère)
- persistance d'un os mort, donnant un séquestre osseux, sans aucun phénomène de réparation (revascularisation impossible)
- formation d'un nouvel os après cicatrisation.

Selon P.I Bränemark, après le forage, les conditions nécessaires à une néoformation osseuse au contact de l'implant (ostéo-intégration) sont la présence de cellules spécifiques, une nutrition adéquate de ces cellules et l'envoi du stimulus approprié pour la réparation osseuse. L'établissement de cette interface os-implant encore appelée ostéointégration se déroule en 4 étapes ⁽⁶⁾(Fig.2) :

II.3.1 Étape 1 : Phase inflammatoire

De 0 à 2 heures : constitution d'un coagulum contenant des érythrocytes, des polynucléaires neutrophiles, des macrophages et d'un réseau de fibrine issu du plasma exsudé des vaisseaux du bord de la lésion.

De 2 à 10 heures : envahissement granulocytaire avec émission de prolongements cytoplasmiques et mobilité cellulaire.

De 3 à 5 jours : envahissement érythrocytaire réalisant une circulation ouverte et formation d'un réseau granulocytaire avec invagination capillaire.

De 5 à 7 jours : envahissement par des capillaires néoformés à paroi fine réalisant une circulation fermée. Le coagulum devient alors un tissu conjonctif de granulation, caractérisé par des cellules fibroblastiques, des structures vasculaires, quelques cellules inflammatoires et des ostéoclastes au niveau de la surface osseuse de la lésion.

A 7 jours : la matrice conjonctive présente des aires d'os immature nouvellement formé. La présence d'os, à ce stade, se manifeste autour des unités vasculaires et au contact de l'implant (variable selon le type de surface) ⁽¹⁰⁾ avec des trabécules bordées d'ostéoblastes et contenant des ostéocytes.

De 7 jours à 2 semaines : formation osseuse intense d'os immature partant de la surface osseuse lésée vers la surface implantaire ; phénomènes de remodelage continu avec apposition/résorption au niveau des zones d'os responsables de la stabilité primaire (os lésé en contact avec la surface implantaire).

II.3.2 Étape 2 : Phase de réparation et de formation du cal osseux primaire

De 2 à 4 semaines : la cicatrisation est marquée par la formation osseuse continue, toujours du bord de la lésion vers l'implant. L'os nouvellement formé est de type primaire spongieux avec de nombreuses structures vasculaires et de nombreuses cellules fibroblastiques. Il correspond souvent à une combinaison d'os immature, fibreux et lamellaire. Le remodelage durant cette période est donc intense.

De 4 à 6 semaines : l'os combiné a rempli complètement la lésion d'où contact direct os-implant.

II.3.3 Étape 3 : Phase de maturation du cal primaire en cal secondaire

A partir de la 6ème semaine et jusqu'à la 18ème semaine, l'os nouvellement formé est caractérisé par la présence d'ostéons primaires et secondaires. Par remaniement, il se compacte. C'est à la 18ème semaine que les premiers cycles de remodelage aboutissent.

La maturation et la minéralisation secondaire perdurent pendant les 12 premiers mois jusqu'à ce que l'os atteigne sa résistance physiologique correspondant au contexte biomécanique en présence.

II.3.4 Étape 4 : Phase de maintenance

Passé la première année, l'os péri-implantaire est mature. Il est alors le siège de l'adaptation physiologique qui permet son maintien dans des conditions d'équilibre.

En conclusion, le processus de formation osseuse débute très tôt durant la première semaine de cicatrisation ⁽¹⁰⁾. C'est entre cette première semaine et la 4ème semaine, que l'os lésé directement au contact de l'implant et assurant la stabilité mécanique primaire, est remplacé par un os nouvellement formé. Ainsi l'ancrage mécanique des premières semaines est progressivement remplacé par un attachement biologique suivant un processus dynamique.

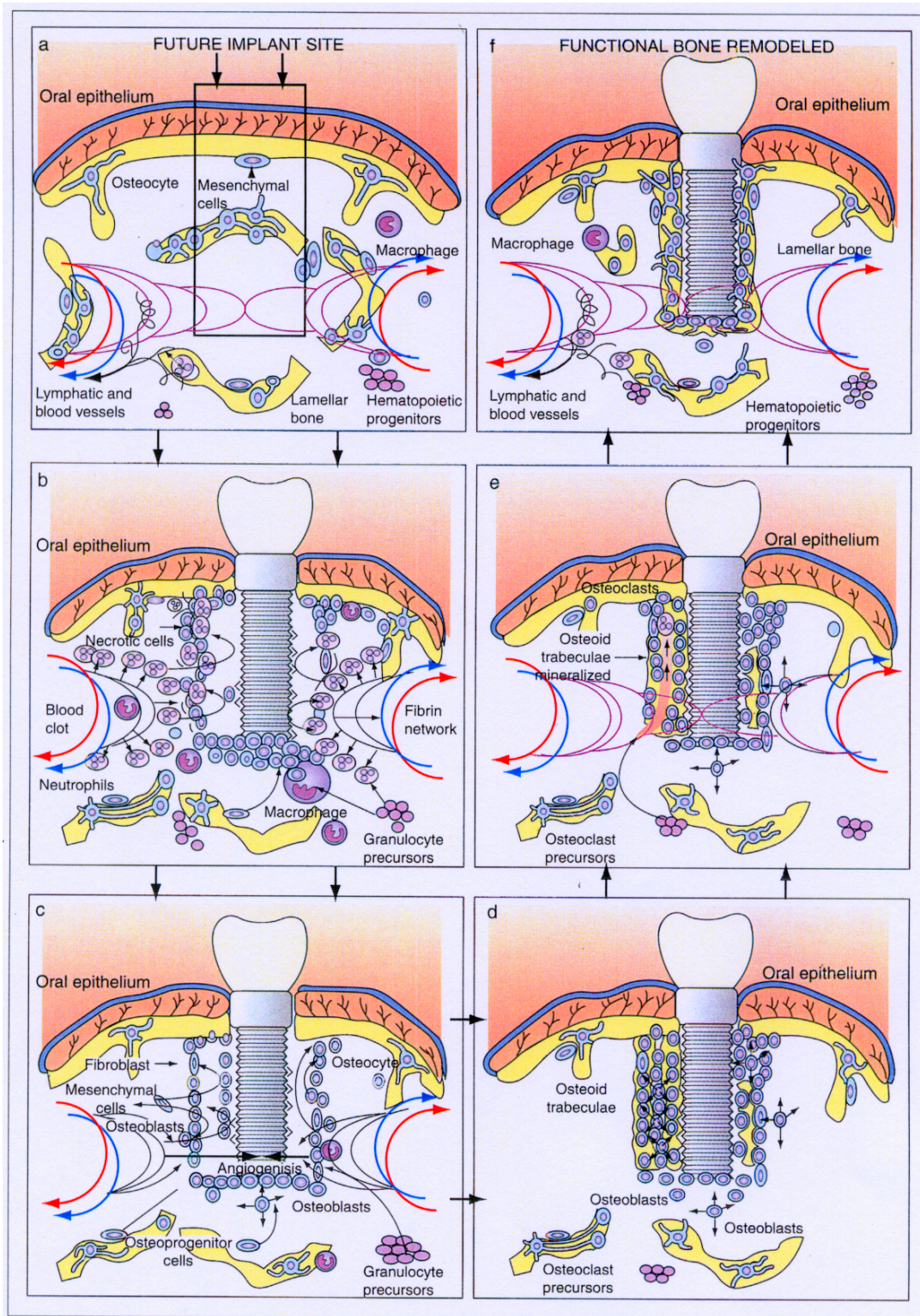


Figure 2 : Processus d'ostéointégration (Source : Thèse Y. Dinardo 2004)

- A : Structure de l'os
- B : Phase inflammatoire
- C : Phase de formation osseuse immature au sein de la matrice conjonctive
- D : Phase de réparation et de formation du cal osseux primaire
- E : Phase de maturation du cal primaire en cal secondaire
- F : Phase de maintenance

II.4 La technique chirurgicale

L'obtention et le maintien de l'ostéo-intégration sont les prérequis indispensables au succès clinique et à la pérennisation d'une prothèse implanto-portée. Il est donc extrêmement important d'identifier les facteurs influençant les séquences biologiques de la cicatrisation durant les premières phases de l'intégration tissulaire, lorsque la stabilité mécanique primaire (notion mécanique) de l'implant est remplacée par la stabilité biologique secondaire (notion biologique).

La technique chirurgicale de forage est donc un des paramètres sur lequel le praticien peut avoir une action en vue d'optimiser la stabilité implantaire initiale, et donc l'ostéo-intégration. Cette technique de forage devrait idéalement permettre d'éviter des forces excessives de compression et/ou d'échauffement de l'os, qui au lieu de stimuler le tissu osseux, seront synonymes de nécrose osseuse. Par ailleurs, l'irrigation constante de sérum physiologique, utilisée lors d'un forage classique pour éviter l'échauffement, élimine le coagulum osseux et prive le site de son potentiel ostéogénique. C'est pourquoi nous allons étudier, au travers de l'étude d'un système implantaire, les avantages et inconvénients des protocoles de forage à basse vitesse sans irrigation.

III. Comparaison des protocoles de forages avec et sans irrigation

Les stratégies de forages n'ont pas changé depuis des décennies. Des études récentes tendent à montrer que les forages à grande vitesse avec irrigation, uniques protocoles de forage existants auparavant, pourraient nuire au potentiel ostéogénique de la zone :

- ils créent un traumatisme thermique et mécanique générant une zone de mort cellulaire concomitante
- l'irrigation concomitante, destinée à réduire la chaleur générée par le forage conventionnel, élimine également le contenu du forage appelé coagulum osseux à fort potentiel ostéogénique (copeaux d'os, stroma du tissu conjonctif, cellules souches).⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾

C'est pourquoi, un nouveau protocole de forage (visant à éliminer les défauts précédemment cités) est réalisé à basse vitesse pour limiter l'échauffement. Par conséquent l'irrigation, devenue facultative, permet de conserver le coagulum osseux et favoriserait une meilleure réponse osseuse, en maintenant le matériel ostéogénique.

III.1 Protocole de forage conventionnel à haute vitesse

Dans ce protocole de forage traditionnel, le moteur est réglé sur une vitesse variant de 800 à 2000 (RPM = tr/min) selon le type d'irrigation, le type de foret, et enfin selon la sensibilité de l'opérateur. Cette séquence de forage utilise une série de forets de diamètres croissants.

- Le 1er foret (fraise boule ou foret de précision) :(Fig. 3a et 3b)

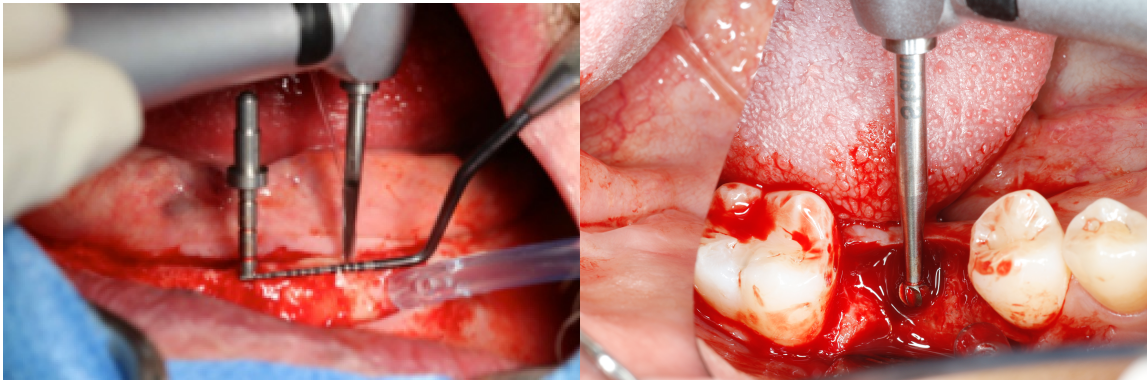


Figure 3a : utilisation du foret de précision pour marquer le positionnement de l'implant

Figure 3b : utilisation de la fraise boule pour marquer le positionnement de l'implant

Source : Courtoisie du Dr STÉPHAN

C'est le premier foret de la séquence. Il a pour objectifs de marquer le positionnement de l'implant et de créer une « encoche » dans la corticale osseuse externe, ce qui aura une action stabilisatrice en évitant que le second foret ne dérape. Ce premier contact avec le tissu osseux du site de forage va permettre au praticien d'apprécier l'épaisseur et la résistance de cette corticale (dans la classification de Lekholm et Zarb, les types Q2 et Q3 ont respectivement une corticale épaisse et fine).

- Le foret de 2mm (Fig.4a et 4b)



Figure 4a : foret de 2mm- Figure 4b : utilisation du foret de 2mm pour déterminer l'axe et la profondeur de

l'implant. (Source : Courtoisie du Dr STÉPHAN)

Ce second foret est le plus important de la séquence. En effet, il détermine :

- la direction du forage (et donc l'axe de l'implant)
- la profondeur du forage qui est fonction de la longueur de l'implant préalablement planifiée.

Par ailleurs, c'est au cours de cette étape que la densité osseuse du site pourra être

appréciée. La résistance osseuse au forage ressentie est souvent classifiée selon la classification de Lekholm et Zarb (Tableau 1) ⁽¹⁴⁾. Elle permet de déterminer subjectivement le type osseux de manière qualitative et quantitative. Les sensations varient en fonction de la densité osseuse ; elles s'apparentent à un forage dans :

- du bois dur (chêne) : os de type Q1
- du bois mou (pin) : os de type Q2
- du balsa : os de type Q3
- du polystyrène : os de type Q4

Il faut noter qu'au sein d'un même maxillaire, la densité peut varier en fonction du site (Tableau 2). Les échecs implantaires chirurgicaux peuvent être soit primaires (où l'échec de l'ostéo-intégration est découverte au moment du 2ème temps chirurgical) soit secondaires (où la perte de l'ostéointégration survient après la mise en fonction de la prothèse).

Les échecs primaires augmentent en fonction du type d'os rencontré, notamment dans l'os de faible densité et en particulier à cause d'une mauvaise stabilisation primaire de l'implant (Friberg 1991, Jaffin et Berman 1991) ⁽¹⁵⁾. L'évaluation de la densité est donc capitale afin d'adapter soit le protocole opératoire soit la période de temporisation.









Classification de Lekholm et Zarb		
Catégories	Types	Images
Quantité	A: résorption de la crête alvéolaire faible	
	B: résorption modérée	
	C: résorption avancée ne laissant persister que l'os basal	
	D: légère résorption de l'os basal	
Qualité	Q1: os compact homogène et os dit « de marbre »	
	Q2: os présentant une couche épaisse d'os compact entourant un noyau d'os trabéculaire dense	
	Q3: os présentant une fine couche d'os cortical entourant un noyau d'os trabéculaire dense et de bonne résistance	
	Q4: os présentant une fine couche d'os cortical entourant un noyau d'os trabéculaire de faible densité	

TABLEAU 1 : Classification de Lekholm et Zarb ⁽¹⁴⁾

- Sources : https://www.researchgate.net/figure/Clasificacion-de-hueso-segun-Lekholm-y-Zarb-1-Imagen-tomada-de-Lindhe-K-Karring-T_fig1_334508698
- <http://radiowiki.blogspot.com/2016/08/dentascan-ce-que-le-radiologue-doit.html>

	Maxillaire	Mandibule
Antérieur	Q2-Q3	Q2-Q1
Postérieur	Q3-Q4	Q2-Q3

Tableau 2 Répartition des densités osseuses (Fig. 5)





En %		Mx ant	Mx post	Md ant	Md post
 Type I		0	0	6	3
 Type II		25	10	66	50
 Type III		65	50	25	46
 Type IV		10	40	3	1

Figure 5 : Répartition des densités osseuses

Source : Courtoisie du Dr STÉPHAN

Cependant, quelque soient les précautions prise lors du forage, une zone nécrotique apparaîtra inévitablement en réponse au traumatisme infligé au tissu osseux par le forage (Misch ⁽⁹⁾, Bert ⁽¹⁶⁾).

Le chirurgien, pour minimiser au maximum cette zone périphérique de nécrose osseuse, devra :

- limiter l'échauffement (température critique maximale : 47°C pendant 1 minute Ericksson et Albrektsson ⁽¹⁷⁾) en utilisant des forets neufs à usage unique ou limité, afin de bénéficier d'une efficacité de coupe optimale pour libérer une énergie essentiellement mécanique et non calorique. De plus, le forage doit se faire sous irrigation constante de sérum physiologique et selon la technique du « touch and go », c'est à dire un mouvement de va-et-vient sans pression excessive, afin de limiter le temps de travail effectif et la pression exercée à quelques secondes, et d'évacuer les débris facilement. Enfin, plus la densité osseuse augmente, plus la quantité d'os à enlever au cours d'une rotation sera grande avec, par conséquent, un risque

d'échauffement majoré ; la limitation de l'échauffement passera donc par un plus grand nombre de forets à passer Franquin et col.⁽¹⁸⁾. Concernant la vitesse de forage, des études chez l'animal ont montré que d'une part, l'échauffement était inversement proportionnelle à la vitesse rotative du foret et que d'autre part, la qualité de l'os néoformé était meilleur avec des vitesses de forage élevées. ^{(19) (20)}

- limiter la compression de l'os lors de la mise en place de l'implant, en adaptant la séquence de forage à la densité. Selon Klinger ⁽²¹⁾, une compression osseuse, dans le cas d'un couple de vissage trop important de l'implant, entraîne un écrasement vasculaire et une compression des faisceaux de collagène chassant les cellules et la substance fondamentale. Ainsi, par manque d'apport nutritif, une zone de dégénérescence cellulaire conduira à un échec d'ostéo-intégration. C'est pour ces raisons que les implants placés dans un os de type I sont le siège d'un taux d'échec majoré du fait d'une compression ou d'un échauffement excessif (Friberg et col. ou Jaffin et Berman). ^{(22) (15)}

Tous ces facteurs sont sous le contrôle du chirurgien, et vont permettre de réaliser une chirurgie traumatisante afin d'améliorer les conditions biologiques de cicatrisation et d'intégration implantaire. Il est donc capital d'adapter le protocole de forage en fonction de la densité osseuse ressentie, du diamètre de l'implant et de la situation clinique. On distingue, en fonction de la densité du tissu osseux à forer, trois protocoles de forage.

III.1.1 Protocole 1 : Protocole de forage conventionnel pour os standard (types II et III)

Medium Bone Type II & III



Schéma 1 : Séquence de forage conventionnel donnée pour un implant de 4,3mm de diamètre (dans cette situation le taraud est facultatif) .Source : Surgical protocol for NobelParallel™ CC

<https://slideplayer.com/slide/13825520/>

Il s'adresse aux qualités osseuses Q2 et Q3 selon la classification de Lekholm et Zarb⁽¹⁴⁾, situation la plus communément retrouvée, aussi bien en fréquence qu'en topographie⁽²³⁾.

1. *Foret « boule » ou foret de précision* : il est utilisé pour le repérage superficiel du centre du forage et le passage de la corticale externe. Ce foret, outre son rôle de positionnement de l'implant sur la crête osseuse dans les sens mésio-distal et vestibulo-oral conformément au projet prothétique, permet de réaliser une « marque dans l'os qui évitera au foret suivant de déraper.

2. *Foret de 2 mm* : ce second foret permet de déterminer l'axe du forage, et donc du futur implant. Dans un premier temps, le foret est utilisé sur une longueur de 7mm dans l'axe supposé idéal conformément au projet prothétique. L'axe est alors vérifié à l'aide d'un indicateur de direction (à ce stade, l'axe peut être modifié à volonté), puis dans un second temps, le foret est passé en conservant cet axe jusqu'à la longueur de forage correspondant à la longueur de l'implant planifié.

3. *Foret de 2,4-2,8mm* : ce foret ainsi que les suivants ne doivent pas changer l'axe déterminé par le foret précédent. Ils ne sont destinés qu'à élargir le forage progressivement afin de limiter l'échauffement. Il est passé jusqu'à la longueur de forage.

4. Foret de 3,2-3,6mm

5. Forets cortical et taraud (facultatifs en fonction de la densité osseuse)

En fonction de la densité de l'os, cette séquence de forage conventionnelle devra être adaptée.

III.1.2 Protocole 2 : Protocole de « sur-forage » pour os dense (type I)

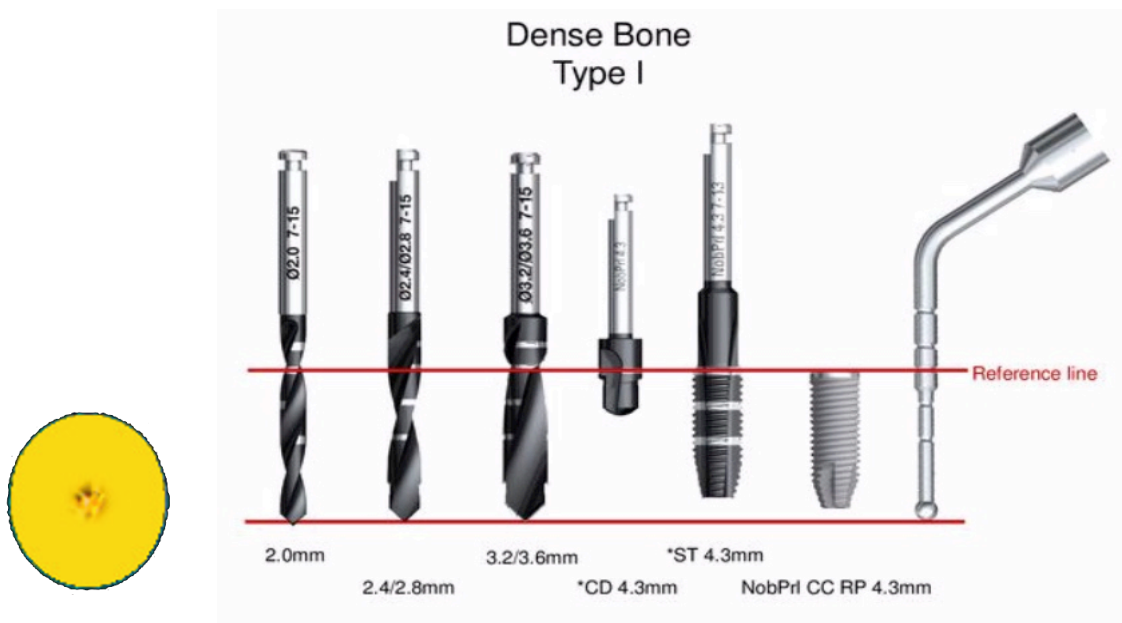


Schéma 2 : Séquence de sur-forage donnée pour un implant de 4,3mm de diamètre (dans cette situation le taraud est obligatoire). Source : Surgical protocol for NobelParallel™ CC <https://slideplayer.com/slide/13825520/>

Il s'adresse à une qualité osseuse Q1 (selon la classification de Lekholm et Zarb⁽¹⁴⁾) qui correspond à une densité élevée retrouvée principalement au niveau de la symphyse mandibulaire. Il consiste à utiliser des forets complémentaires afin d'éviter un échauffement de l'os, mais également une mise en place de l'implant avec un couple de serrage trop élevé, pouvant générer une nécrose des tissus périphériques voire un échec d'ostéo-intégration. La séquence, identique à celle utilisée dans le protocole de forage conventionnel, utilise deux forets supplémentaires.

6. Foret cortical permet d'évaser l'os cortical crestal afin de réduire la compression osseuse autour du col de l'implant.

7. Taraud : ce foret a la particularité d'être utilisé à basse vitesse (20 à 50 RPM) ; de plus, il est spécifique de l'implant que l'on placera car il crée un filetage dans l'os.

III.1.3 Protocole 3 : Protocole de « sous-forage » pour os de faible densité (type IV)

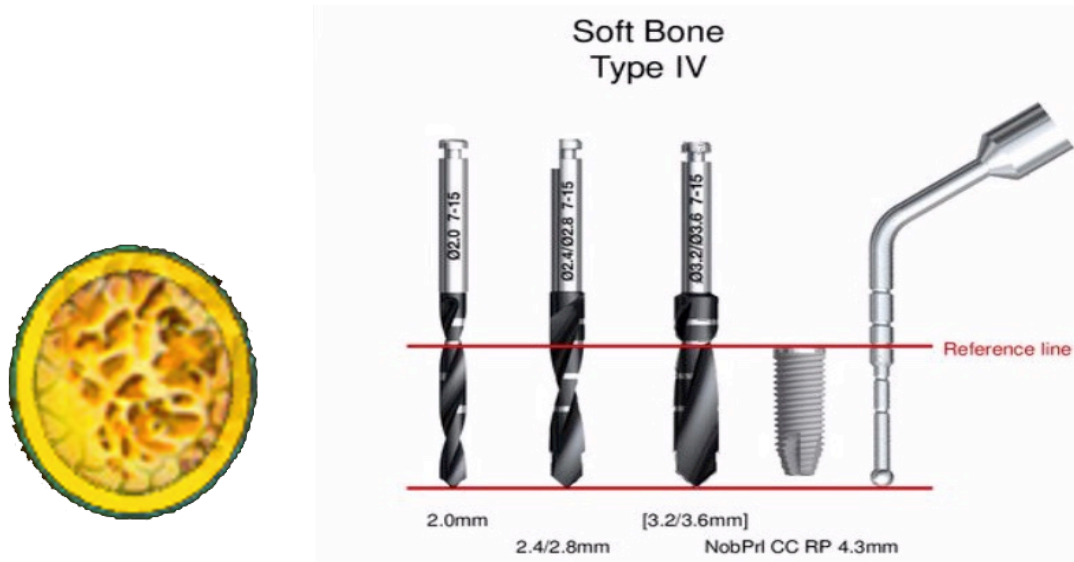


Schéma 3 : Séquence de sous-forage donnée pour un implant de 4,3mm de diamètre.

Source : Surgical protocol for NobelParallel™ CC <https://slideplayer.com/slide/13825520/>

Il s'adresse à une qualité osseuse Q4 (selon la classification de Lekholm et Zarb⁽¹⁴⁾) qui correspond à une densité osseuse faible retrouvée principalement dans les secteurs postérieurs maxillaires. Ce protocole de forage vise à assurer une friction de l'implant dans l'os lors de sa mise en place afin d'assurer une stabilité primaire suffisante. Cette stabilité primaire permet de s'opposer aux micro-mouvements, synonymes d'échec d'ostéo-intégration.

Dans ces protocoles de forages à grande vitesse (800 à 2000 RPM), l'irrigation constante afin d'éviter l'échauffement élimine le coagulum osseux et son potentiel de cicatrisation.

III.2 Protocole de forage à basse vitesse

Pour pallier aux défauts des forages conventionnels à haute vitesse (nécrose cellulaire, élimination du potentiel de cicatrisation du coagulum par l'irrigation...) évoqués précédemment, de nouveaux implants utilisant des protocoles de forage à basse vitesse sont arrivés récemment sur le marché. Ce sont ces nouveaux protocoles

que nous allons étudier au travers d'un exemple que nous avons testé : l'implant N1 commercialisé par Nobel Biocare®. (Schéma 4)

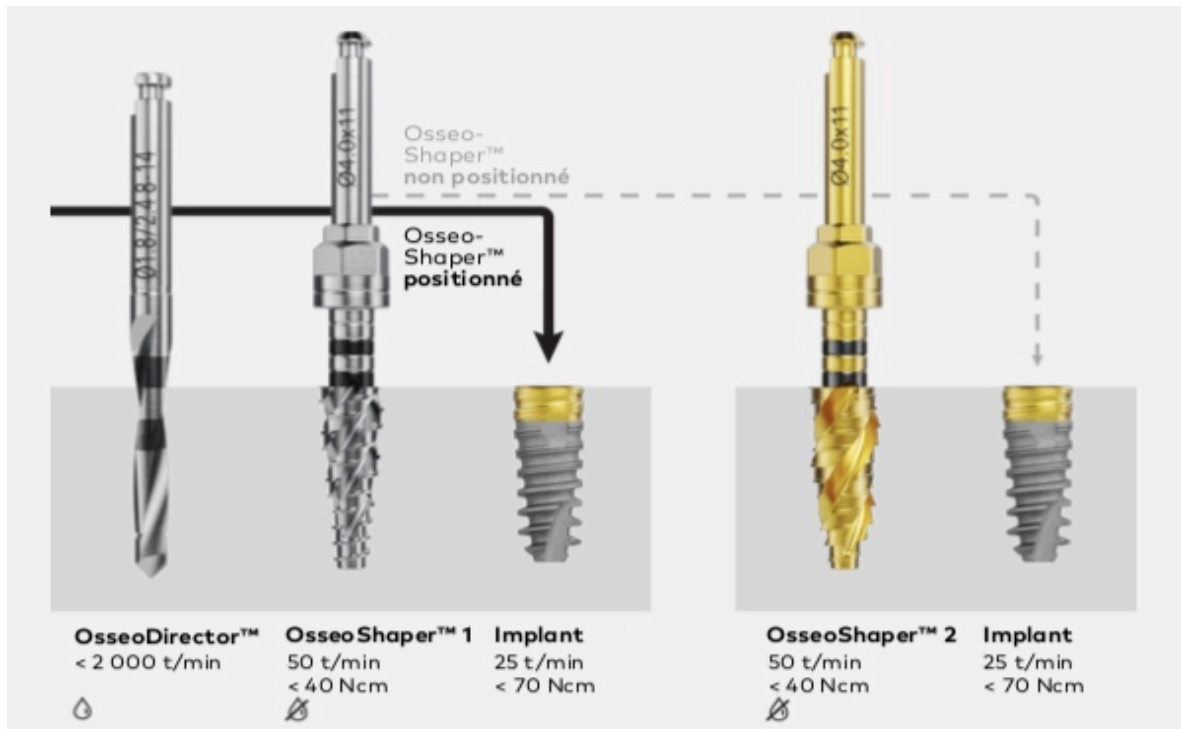


Schéma 4 : Séquence système N1

Source : Présentation N1 avec l'aimable autorisation de la société Nobel Biocare

Dans le système utilisé, le protocole de forage est simplifié et n'utilise que deux ou trois forets. De plus, le deuxième foret est utilisé à basse vitesse (20 à 50 RPM) et sans irrigation. Ce protocole se veut simplifié par une diminution du nombre de forets utilisés. Cela consiste par l'utilisation séquentielle des instruments suivant :

- Le 1er foret (OsseoDirector): (Fig 6)

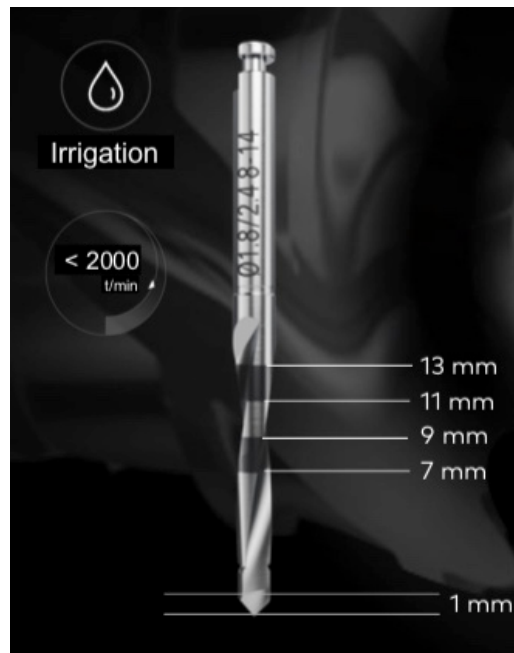


Figure 6 : Foret OsseoDirector

Source : Présentation N1 avec l'aimable autorisation de la société Nobel Biocare

Ce premier instrument du protocole de forage définit la profondeur et la direction de l'implant. La préparation du site d'implantation nécessite toujours l'utilisation d'un foret pilote hélicoïdal tournant à plus de 2000 RPM, sous irrigation constante de sérum physiologique. Le foret OsseoDirector crée ainsi le puit de forage initial et permet de déterminer l'axe et la profondeur du forage, mais pas le diamètre définitif. Sa conception favorise l'engagement osseux, et le corps conique permet des changements de direction tout en réalisant le trou pilote. La conception pointue de ce foret favoriserait l'engagement osseux, et le corps conique permettrait des changements de direction tout en réalisant le trou pilote.

- Le 2d foret (OsseoShaper) : (Fig 7)



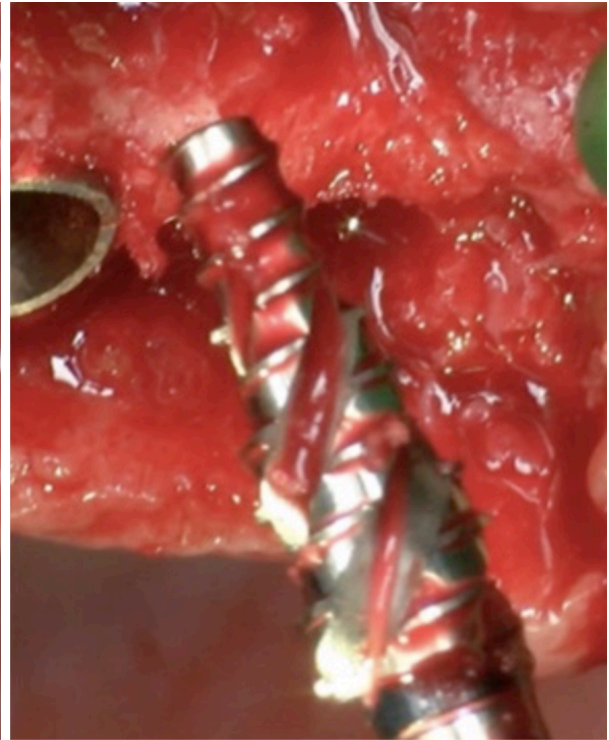
Figure 7 : Foret OsseoShaper 1

Source : Présentation N1 avec l'aimable autorisation de la société Nobel Biocare

La mise en forme finale de l'implant nécessite l'utilisation d'un seul autre foret : l'OsseoShaper 1. Il est utilisé avec une vitesse de rotation basse (50 RPM) et sans irrigation. Sa conception conique et son profil de filetage extérieur permettent d'une part, une insertion contrôlée à faible vitesse qui suit le trajet de l'OsseoDirector, et d'autre part de faciliter l'évaluation de l'os et fournir une prédiction de la stabilité primaire de l'implant (Figure 8).



Os de forte densité

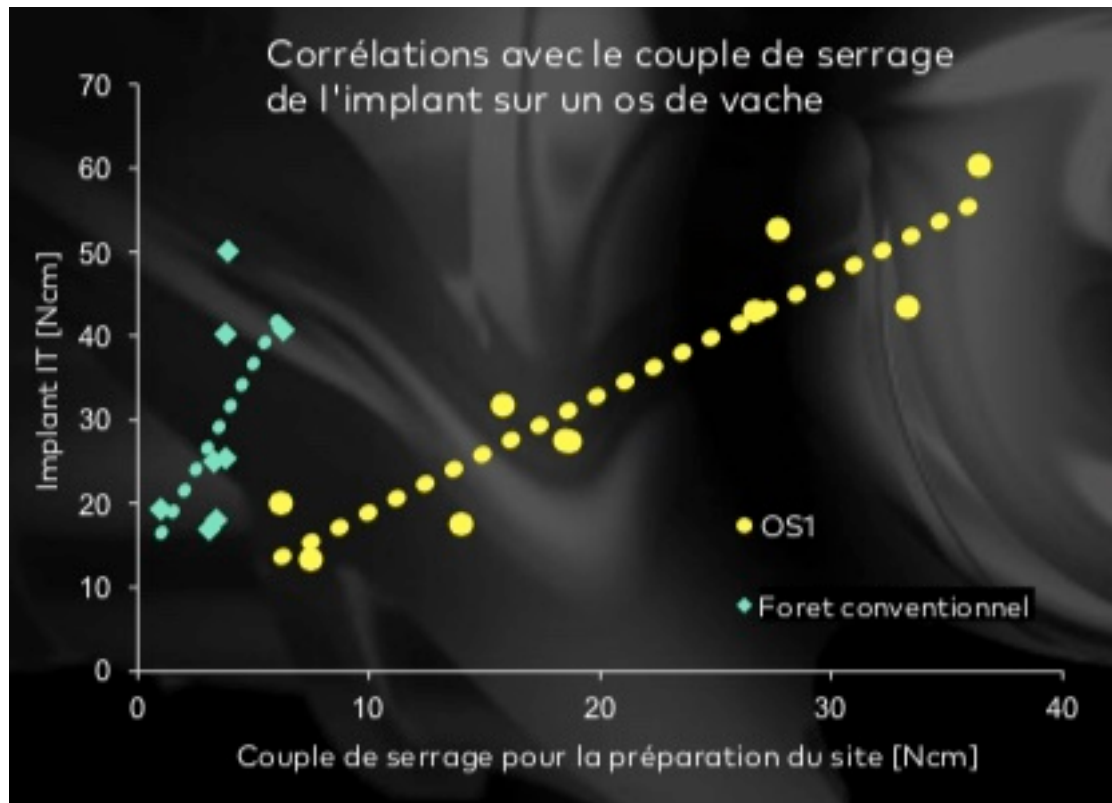


Os de faible densité

Figure 8 : Évaluation de la densité osseuse

Source : Présentation N1 avec l'aimable autorisation de la société Nobel Biocare

En effet, en fonction du couple généré par l'instrument, il est possible de prévoir le couple nécessaire à la mise en place de l'implant, c'est à dire la stabilité primaire de l'implant. (Graphique 1)



Graphique 1 : Prédicibilité entre les couples de serrage lors du forage et celui de la mise en place de l'implant
 Source : Présentation N1 avec l'aimable autorisation de la société Nobel Biocare

Ce foret permet une mise en forme finale du puit de forage au diamètre de l'implant sans générer de chaleur (entraînant une apoptose des ostéoblastes) ⁽¹²⁾, sans dévier de l'axe initial tout en préservant de l'os vital dans et autour de l'ostéotomie. Le couple est progressivement augmenté (20, 30 puis 40 N.cm) jusqu'à la longueur totale du foret. Lorsque le foret atteint la profondeur de forage, la fonction reverse est enclenchée pour désengager le foret. Dans le cas où l'os est trop dense et que le foret n'atteint pas la longueur de forage, un ultime foret, l'OsseoShaper 2 est parfois nécessaire. Ce foret a les mêmes propriétés et le même usage que le précédent. Il est utilisé uniquement si l'OsseoShaper 1 atteint un couple de serrage de 40 Ncm avant d'arriver à la profondeur planifiée de l'implant. La séquence s'achève par la mise en place de l'implant.

Une autre particularité de ce foret est, qu'aux caractéristiques de l'implant planifié (longueur/diamètre), correspond son foret spécifique. C'est pourquoi, l'OsseoShaper 1 est conditionné dans la même gaine que l'implant. (Fig.9)

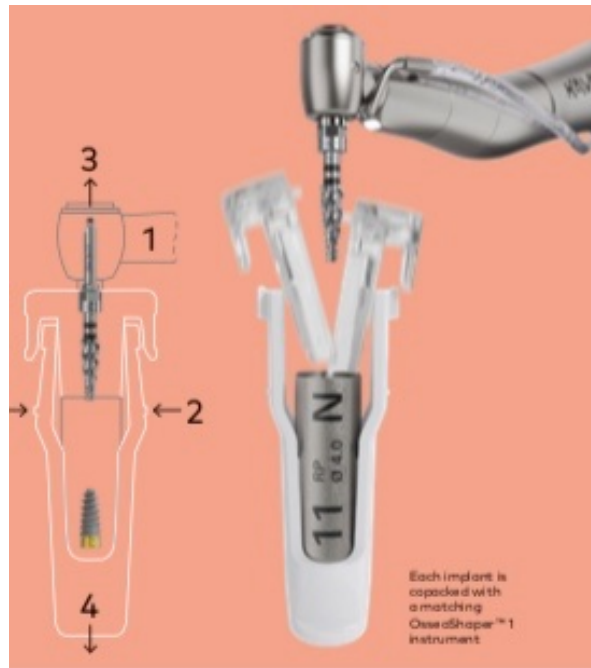


Figure 9 : Conditionnement de l'OsseoShaper 1 et de l'implant N1

Source : Présentation N1 avec l'aimable autorisation de la société Nobel Biocare

Cette nouvelle conception de foret est conçue pour limiter la mort des ostéocytes causée par les dommages mécaniques et thermiques, et simultanément retenir le coagulum osseux/copeaux osseux générés par la coupe osseuse.

Une zone de nécrose ostéocytaire est observée lors d'un forage conventionnel à haute vitesse sous irrigation. Dans ce cadre, une température maximale d'environ 80 ° C a été enregistrée en périphérie de la coupe du foret, et ce malgré l'utilisation d'une irrigation abondante ⁽¹²⁾. En comparaison, l'OsseoShaper a généré des pointes de températures significativement plus basses (~40 °C) avec des températures inférieures connues pour provoquer la nécrose des ostéocytes (~45 °C) ⁽¹²⁾. La viabilité des ostéocytes est ainsi maintenue par la coupe à basse vitesse qui produit peu de chaleur.

Par ailleurs, la zone de nécrose ostéocytaire générée par le forage (qui s'accompagne généralement d'une résorption osseuse péri-implantaire), est plus grande dans le cas des ostéotomies produites avec des forets conventionnels que celles observées après la pratique des ostéotomies avec OsseoShaper. D'autres études, comme celle de Chen et *al.* ⁽¹²⁾, ont montré qu'une néoformation d'os beaucoup plus rapide que celle obtenue avec un protocole de forage conventionnel, est observée avec ces nouveaux forets. (Fig. 10)

Dans les avantages énoncés par le fabricant, l'utilisation de forets multiples dans les protocoles de forage conventionnels, augmenterait le risque de s'écarter de l'axe d'implantation prévu. Enfin, l'usage de basse vitesse pour le forage réduit significativement les vibrations et rendent l'intervention moins inconfortable pour le patient.

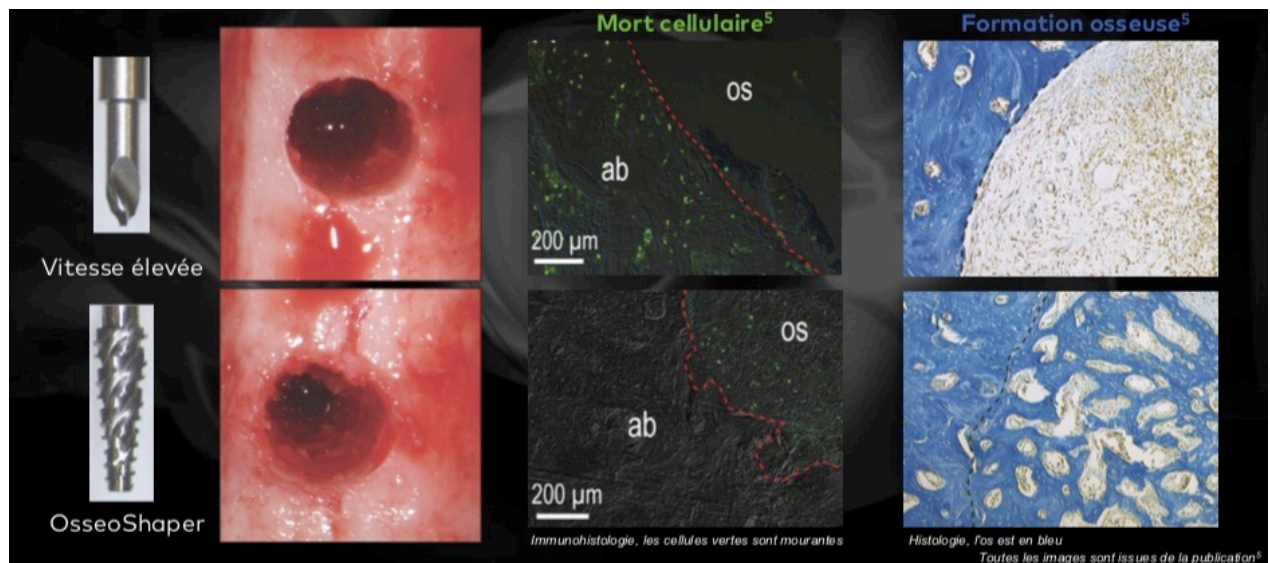


Figure 10 : Traumatisme et formation osseuse : comparaison entre le protocole conventionnel et l'OsseoShaper 1
 Source : Présentation N1 avec l'aimable autorisation de la société Nobel Biocare

III.2.1 Implant à connectique tri-ovale N1 Nobel Biocare®

En association avec un nouveau protocole de forage qui se veut plus respectueux des tissus, ce nouvel implant a été développé pour favoriser la cicatrisation de l'os.

Cet implant reprend les caractéristiques de l'implant Nobel Active : un état de surface TiUltra® présentant un gradient de titane anodisé allant d'une rugosité coronaire minimale à une rugosité apicale modérée et une collerette coronaire lisse pour favoriser une attache des cellules épithéliales. Cependant, cet implant diffère par la forme de sa connexion qui est conique tri-ovale. (Fig. 11a et 11b)

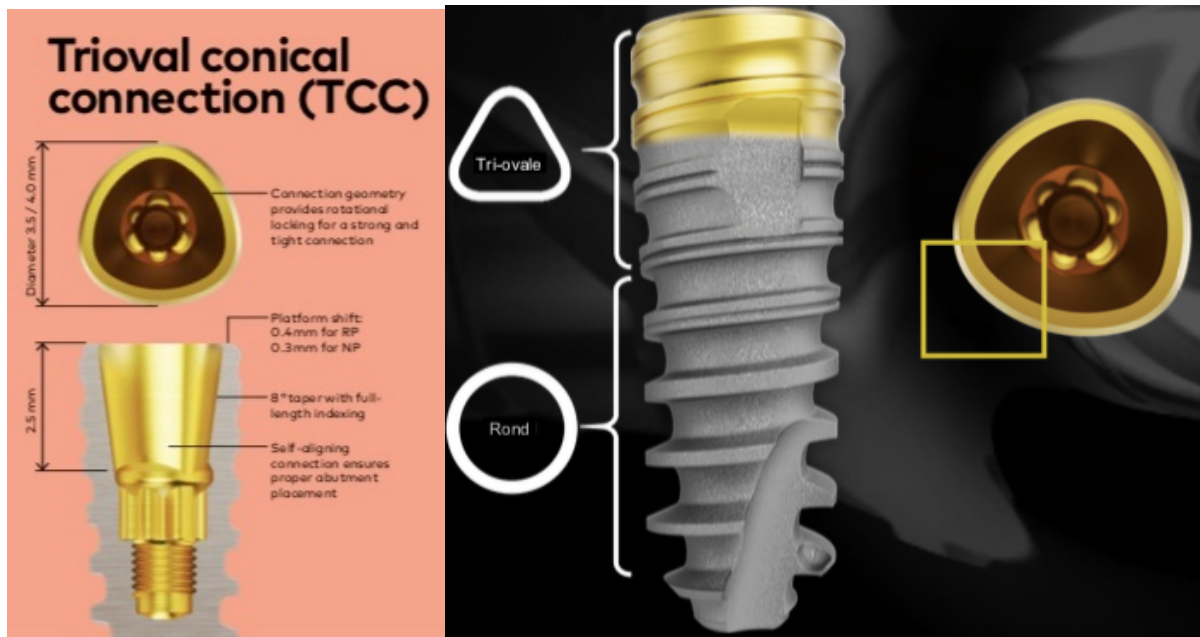


Figure 11a : Connexion conique tri-ovale - Figure 11b : État de surface de l'implant N1 Nobel Biocare
 Source : Présentation N1 avec l'aimable autorisation de la société Nobel Biocare

Avantages de la forme tri-ovale :

La forme tri-ovale de l'implant réduirait les contraintes sur l'os cortical, contrairement aux implants ronds traditionnels, et favoriserait une ostéo-intégration rapide grâce à la surface TiUltra.

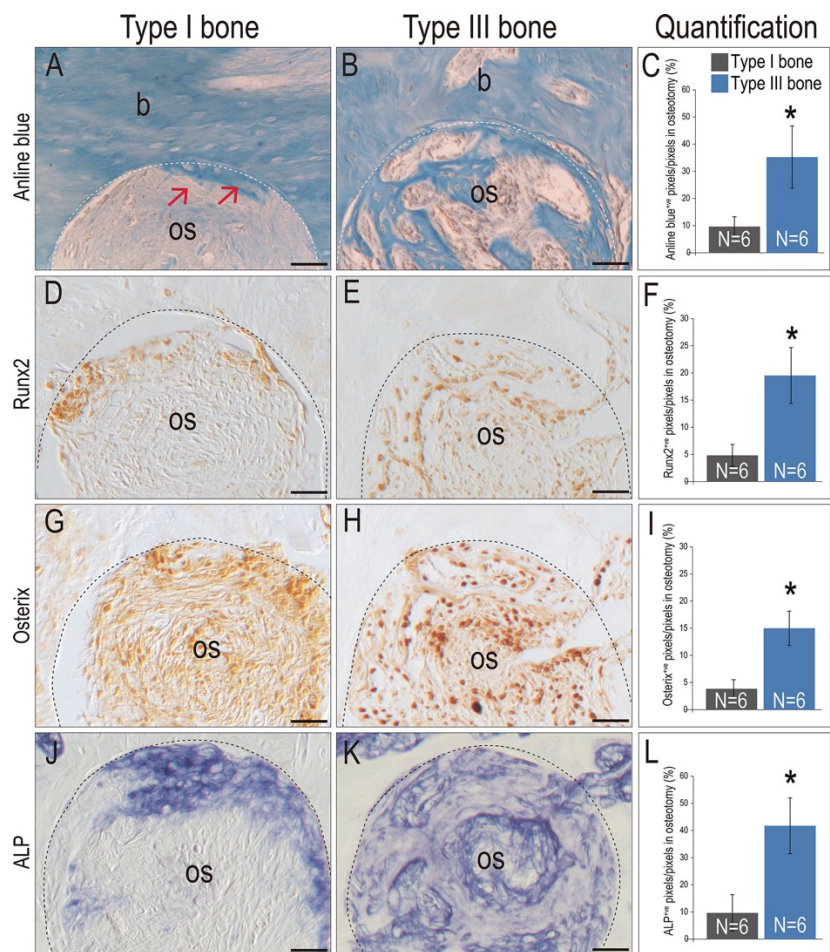


Figure 12. Les ostéotomies guérissent à des vitesses différentes dans les os de type I et de type III ⁽⁵⁾

Contrairement à une idée très répandue selon laquelle la forme d'une ostéotomie devrait permettre un contact implant-os maximal ⁽²⁴⁾⁽¹⁰⁾, les études les plus récentes montrent au contraire que les sites avec un contact implant-os minimal présentent le taux de guérison le plus rapide (Fig. 12). Les raisons avancées expliquant cette réponse ostéo-génique plus favorable seraient :

- des zones de contact os-implant minimales caractérisées par une faible contrainte ⁽²⁵⁾. Dans des environnements à faible contrainte, la différenciation des ostéoblastes serait significativement plus rapide ⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾. La formation osseuse semblerait être plus élevée dans les régions « sans contact » autour des implants ⁽¹⁰⁾.

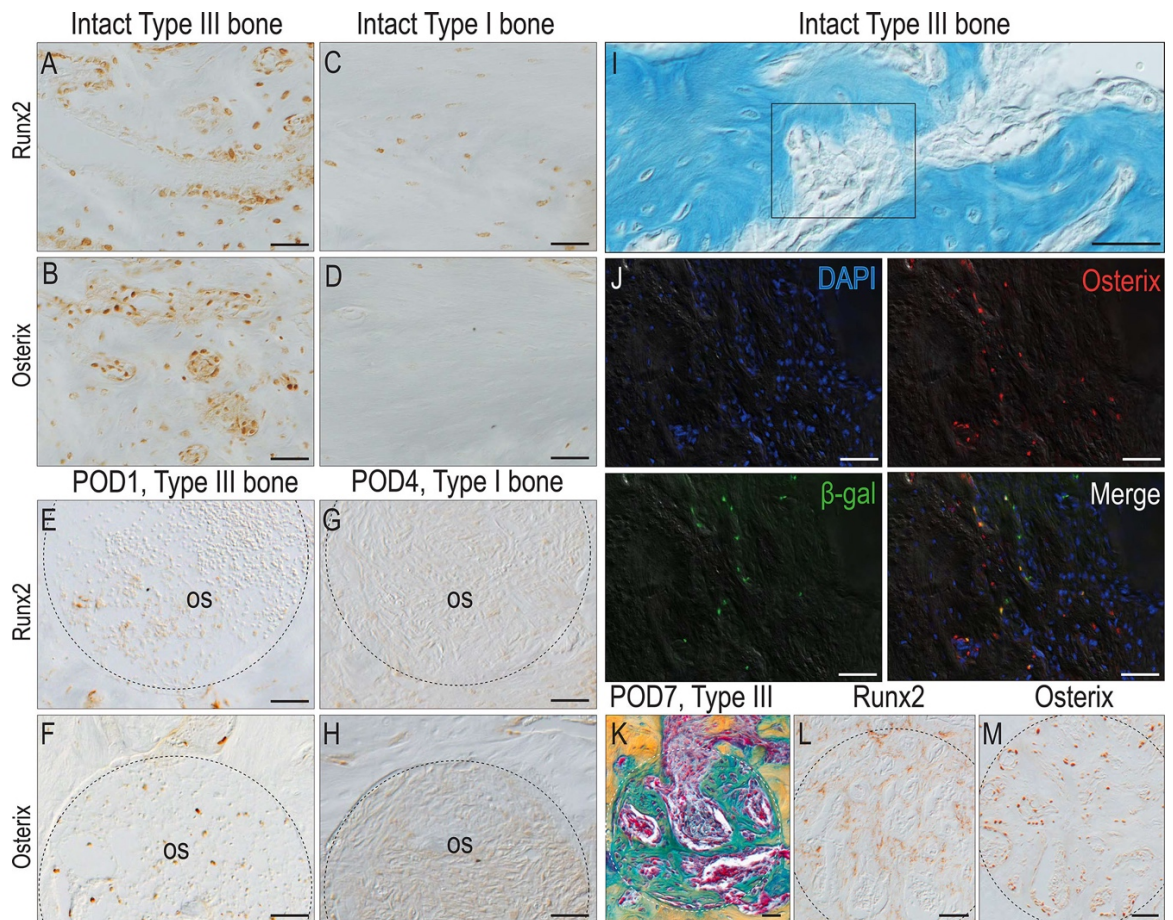


Figure 13. Une base biologique pour une cicatrisation plus rapide de l'ostéotomie des os de type III par rapport aux os de type I ⁽⁵⁾

- la réponse pro-ostéogénique observée dans les zones à contact osseux nul/faible serait due au fait que les cellules ostéo-progénitrices sont abondantes dans les sinusoides vasculaires ⁽²⁸⁾ (principales responsables de la création des vides autour d'un implant (Fig. 13). L'abondance et la proximité de ces cellules accélèreraient la nouvelle formation osseuse autour de l'implant. ⁽⁵⁾

Système N1 Nobel Biocare®	Avantages
Ostéo-intégration et muco-intégration	Optimisé pour l'intégration précoces des tissus
Stabilité primaire	Permettre une excellente stabilité primaire et permettre ainsi une mise en fonction immédiate
Connexion	La géométrie de connexion offre une connexion étanche
Confort du patient	Réduction des vibrations et du bruit (par rapport au protocole conventionnel) et améliore le confort du patient (Fig. 14)
Technique de forage	Le forage à basse vitesse avec l'OsseoShaper préserve l'os vital autour de l'ostéotomie
Prédictibilité du résultat	Prédiction de la stabilité primaire de l'implant au stade du forage
Prise de décision	Aide à la prise de décision (mise en fonction immédiate ou pas)

Tableau 3 : Avantages du système N1 Nobel Biocare®

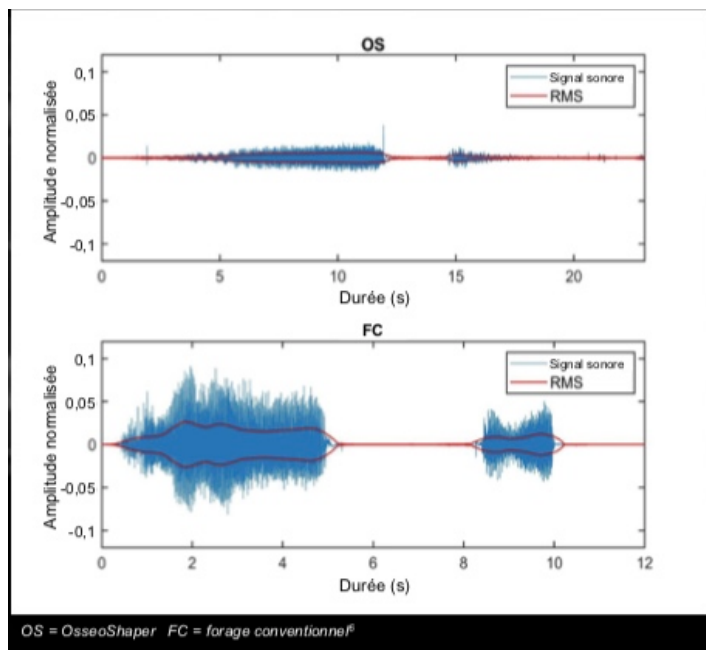


Figure 14 : Comparaison de l'amplitude sonore entre un forage conventionnel et un forage avec OsseoShaper
 Source : Présentation N1 avec l'aimable autorisation de la société Nobel Biocare

Par ailleurs, conçu pour la stabilité et l'intégration tissulaire précoce, cet implant est optimisé pour une pose et une mise en fonction immédiate.

La stabilité de l'implant est un paramètre important pour prédire le succès du traitement et éclairer les protocoles de mise en charge ⁽²⁹⁾. Une étude utilisant des modèles de substitut osseux a été réalisée pour évaluer la stabilité de l'implant de forme tri-ovale dans les simulations d'extraction et de site cicatrisé. Pour évaluer la stabilité, le couple d'insertion maximal (IT) a été enregistré au moment du placement, puis l'inclinaison et le micro-mouvement (MM) ont été mesurés (50'000 cycles de charge de compression sinusoïdale (2Hz) à 30°). Dans les sites cicatrisés, le N1 avait l'IT le plus élevé, les plus petits basculement et MM par rapport au NobelReplace pour les deux diamètres ($p < 0,05$, Tableau 4.) Dans les sites d'extractions, le N1 a obtenu de meilleurs résultats que le NobelActive pour les deux tailles de plate-forme après chargement dynamique ($p < 0,05$), malgré un IT comparable ou légèrement inférieur à l'insertion. Cette étude a ainsi établi que « dans tous les tests, N1 a montré un IT suffisant pour résister à une charge cyclique d'au moins 70N ». Dans cette étude in vitro, la nouvelle conception d'implant tri-oval a nettement surpassé deux conceptions d'implant avec un succès clinique bien documenté dans les indications respectives ⁽²⁹⁾.

Group	Implant	n	Density [pcf]	Load [N]	IT [Ncm]	Tilting [μ m]	MM [μ m]
NP/HS	N1 (3.3 x 9 mm)	8	25	130	45.9 \pm 1.0	149.9 \pm 33.5	150.7 \pm 11.1
	NR (3.5 x 8 mm)	8	25	130	31.6 \pm 0.9	288.9 \pm 49.4	288.5 \pm 45.8
RP/HS	N1 (4.0 x 9 mm)	8	25	110	57.4 \pm 2.1	46.7 \pm 9.5	75.5 \pm 5.1
	NR (4.3 x 8 mm)	8	25	110	39.8 \pm 1.3	81.7 \pm 16.9	95.1 \pm 5.1

Tableau 4. Paramètres expérimentaux et résultats pour le modèle de site guéri. ⁽²⁹⁾

Au moment de l'écriture de ce travail, la quasi-totalité des prothèses sur implants peuvent être réalisées sur l'implant Nobel Biocare N1 : prothèses unitaires vissées ou scellées, plurales partielles, et complètes fixes (tous les transferts physiques ou numérisables, analogues, piliers MUA droits et angulés sont compatibles avec l'implant N1). Cependant, les attachements axiaux (Attachements Locator®, Zest Anchor) ne sont pas adaptés aux implants Nobel Biocare N1, rendant pour l'heure la réalisation de PACSI impossible sur cet implant.

	Implant NobelActive	Implants Nobel Biocare N1
Forme connexion	Rond	Connexion conique tri-ovale réduisant la contrainte sur l'os cortical et limitant une résorption osseuse
Revêtement de surface	TiUltra	<ul style="list-style-type: none"> • TiUltra • Profil d'émergence en surface Xeal conçu pour assurer la stabilité des tissus à long terme, l'esthétique et la flexibilité prothétique.
	Leur revêtement et forme identique permettent d'avoir une stabilité primaire dès le début dans les sites d'extraction et sites cicatrisés, idéaux pour une mise en fonction immédiate	
Type de connexion	Hexagone interne	Cône morse avec indexation secondaire
Séquence de forage	Protocole conventionnel avec utilisation séquentielle de forets de diamètre croissant	Protocole N1 : 2 forets : <ul style="list-style-type: none"> • OsseoDirector (2000 trs/min) sous irrigation constante créant le trou pilote • OsseoShaper (50 trs/min) sans irrigation achevant le puit de forage • L'apex rond et légèrement effilé correspond à l'Osseoshaper™ 1 co-emballé

TABLEAU 5 : Comparatif implants NobelActive/N1 (Fig. 15)

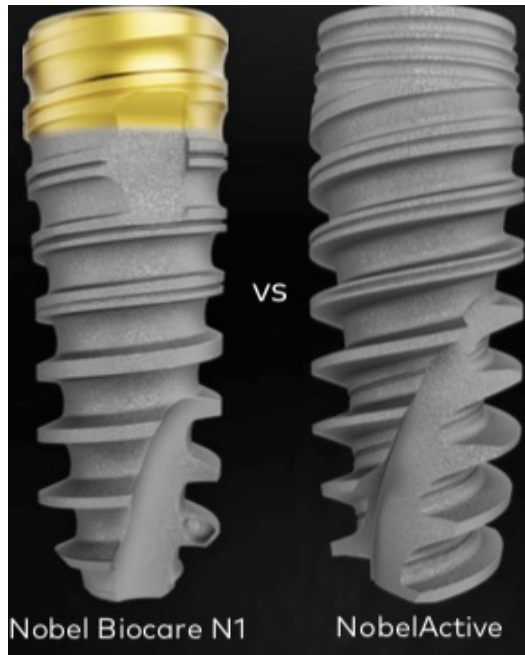


Figure 15 : Comparatif NobelActive/N1
Source : Présentation N1 avec l'aimable autorisation de la société Nobel Biocare

IV. Discussion

IV.1 Études pré-cliniques

Plusieurs études pré-cliniques comme celle de Wang L. et *al.* ⁽⁵⁾ ont été menées à la demande de la société Nobel Biocare®, en utilisant un protocole de forage à basse vitesse, sans irrigation, pour placer des implants avec une connectique tri-ovale.

- Entre octobre 2017 et août 2018, 147 implants ont été posés chez 76 patients par les praticiens « testeurs » participants à ces études : 78,2 % des implants ont été placés après l'instrument OsseoShaper 1.
- Entre avril 2019 et mai 2020, 303 implants ont été posés chez 160 patients : 87,8 % des implants ont été placés après l'instrument OsseoShaper 1.

Selon les praticiens ayant participé à ces études, il en ressort les éléments suivants :

- Le protocole de forage à basse vitesse sans irrigation permet une préparation du site plus efficace qu'avec les protocoles conventionnels (80%)
- Les implants avec une connectique tri-ovale permettent une stabilité initiale avec un couple d'insertion prévisible et fournissent ainsi une aide à la prise de décision (83 %)
- Selon les patients, la réduction des vibrations et du bruit, améliore le confort opératoire.

IV.2 Arguments en faveur des protocoles à basse vitesse

Ces protocoles de forage à basse vitesse présenteraient de multiples avantages par rapport aux protocoles de forage conventionnels à haute vitesse.

IV.2.1 Dommages thermiques (chaleur, ostéonécrose, vitesse de rotation)

La chaleur générée lors de la préparation du site implantaire a une influence négative sur l'ostéo-intégration de l'implant dentaire car la chaleur entraîne la mort cellulaire et la présence d'os mort (nécrotique) stimule la résorption par les ostéoclastes ⁽³⁰⁾.

Plusieurs études ont démontré qu'au-delà d'une limite de températures située entre 45 et 50°C pendant plus d'une minute, la chaleur produisait une dénaturalisation des protéines et des membranes cellulaires, entraînant une réduction de l'activité des ostéoclastes et des ostéoblastes, une déshydratation et une dessiccation entraînant une ostéonécrose et une réduction de la résistance mécanique de l'os ⁽³¹⁾⁽¹¹⁾⁽³²⁾. Cette chaleur serait en lien, selon toute vraisemblance, avec la vitesse de forage ⁽³¹⁾. Pour diminuer la chaleur liée à la friction entre le foret et l'os, le forage doit se faire sous irrigation constante.

Une étude de Calvo-Guirado et *al.* ⁽¹¹⁾, visant à comparer l'élévation de la température entre un protocole conventionnel à haute vitesse de rotation sous irrigation constante et un protocole à basse vitesse sans irrigation, n'a pas montré de différence significative entre les deux protocoles de forage utilisés. Les auteurs en concluent que ce protocole hybride n'endommage pas plus l'os qu'un protocole conventionnel. Ces résultats sont confirmés dans une autre étude de Mihali et *al.* ⁽³³⁾ qui a montré que, le protocole de forage court réalisé à basse vitesse sans irrigation, n'a pas affecté le remodelage de l'os crestal au cours de la première année après l'insertion.

D'autres études montrent au contraire, que la préparation du site à basse vitesse et sans irrigation suivie de l'insertion d'un l'implant avec une connectique tri-ovale, génère beaucoup moins de chaleur par rapport au protocole conventionnel ⁽³⁴⁾.

De plus, selon Sezek et *al.* et Wang et *al.* ⁽³²⁾⁽⁵⁾ dans les protocoles de forage conventionnels, la température augmente à mesure que la vitesse de rotation du foret augmente ; ainsi des températures bien plus élevées que la température nécrotique (> 45 ° C) ont été enregistrées (84 °C) ⁽³²⁾. Toujours d'après ces auteurs, la durée et l'ampleur des températures élevées associées à ces vitesses de forage élevées sont fortement corrélées à une augmentation de la zone de mort et à une résorption osseuse plus prononcée ⁽⁵⁾.

Contrairement aux idées reçues, la mort des ostéocytes n'est pas due à la friction entre l'os et la pointe du foret ⁽³⁵⁾. Au contraire, la chaleur générée est due à l'énergie libérée en réponse à la déformation impliquée dans la coupe des copeaux d'os ⁽³⁶⁾.

Les auteurs Chen et *al.* ⁽¹²⁾ se sont servi d'un modèle informatique pour calculer les températures maximales produites par les deux forets : le protocole de forage conventionnel sous irrigation et le protocole utilisant un OsseoShaper sans irrigation. Ainsi, dans le cas du protocole conventionnel de forage à vitesse élevée, une température maximale de ~ 80°C a été générée en bord de coupe, malgré l'utilisation

d'une irrigation abondante. En comparaison, sans l'utilisation de l'irrigation, les températures générées avec l'OsseoShaper sont restées dans la plage physiologique bien en dessous des températures connues pour provoquer la nécrose des ostéocytes. L'OsseoShaper a été conçu pour couper efficacement l'os à faible vitesse (<50 RPM). Ce forage à basse vitesse se traduit par moins d'os coupé par unité de temps et, par conséquent, moins de dégagement de chaleur par unité de temps (Fig. 16). Moins de génération de chaleur par l'OsseoShaper se traduit par moins d'élévation de température dans l'os, ce qui évite le besoin d'un liquide de refroidissement (Fig. 16). Les séquelles biologiques d'une moindre génération de chaleur par l'OsseoShaper ont été mises en évidence par des analyses de l'apoptose des ostéocytes et de l'activité des ostéoclastes ; en raison de l'augmentation minimale de la température, peu d'ostéocytes ont subi une mort cellulaire programmée, ce qui s'est traduit par une moindre résorption osseuse péri-implantaire (Fig. 16) ⁽¹²⁾. Ce forage à basse vitesse sans irrigation n'empêcherait pas la mort des ostéocytes mais la limiterait par rapport à un forage à haute vitesse et ce, malgré l'usage constant de solution d'irrigation.

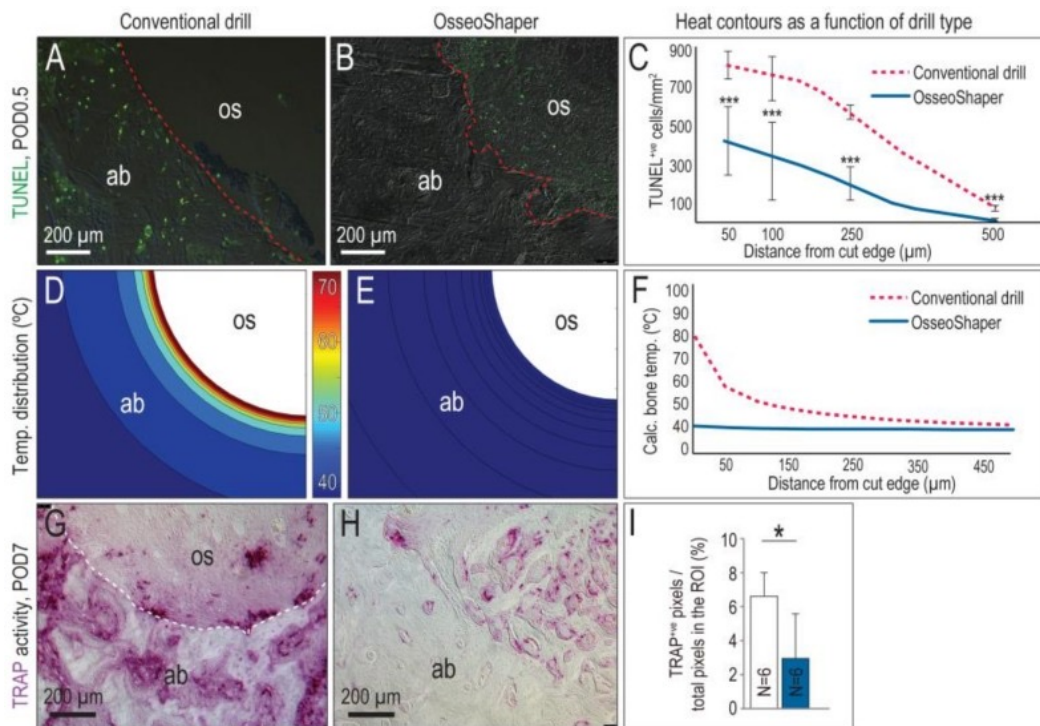


Figure 16. Relation entre la vitesse de forage, le transfert de chaleur et la mort cellulaire programmée autour d'une ostéotomie ⁽¹²⁾

IV.2.2 Irrigation, coagulum osseux

L'irrigation est classiquement utilisée dans les protocoles de forage conventionnel pour réduire l'élévation de la température lors du forage et éviter ainsi la mort des ostéocytes ⁽¹²⁾. Cependant l'inconvénient majeur de cette irrigation est la perte des protéines morphogénétiques, des protéines osseuses, des facteurs de croissance ostéoinducteurs et d'autres substances solubles, appelé coagulum osseux, qui joue un rôle important dans la régénération osseuse ⁽¹¹⁾. En effet, l'os, collecté et dispersé hors du site de forage par l'irrigation, est un os vital qui peut servir à favoriser la cicatrisation osseuse ⁽¹³⁾. D'autres études ont pu démontrer que les forets utilisant une irrigation abondante entraîneraient une perte d'os vital pouvant aider à l'ostéo-intégration de l'implant ⁽¹¹⁾⁽¹²⁾.

Les protocoles de forage à basse vitesse et sans irrigation ont donc pour but, non seulement de limiter l'élévation thermique mais également de préserver ce coagulum osseux, véritable atout pour l'ostéo-intégration. Des études ont déterminé que les ostéotomies réalisées avec l'OsseoShaper conservaient significativement plus de matière osseuse que les ostéotomies réalisées de manière conventionnelle (Fig. 17).

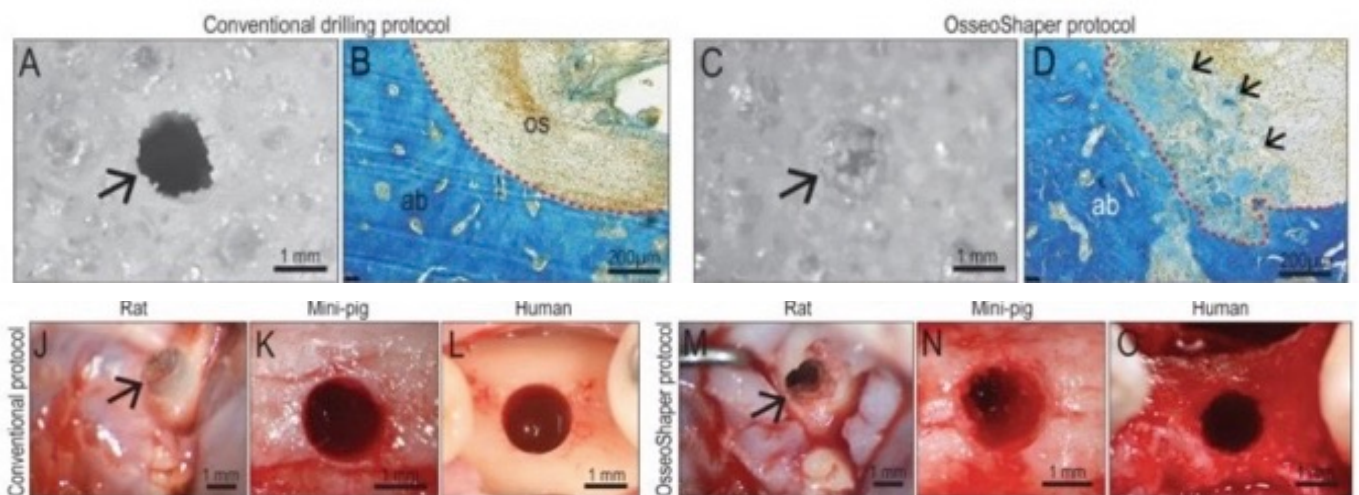


Figure 17 : Préservation coagulum osseux entre protocole conventionnel et OsseoShaper ⁽¹²⁾

IV.2.3 Technique et temps

Le protocole de forage hybride impliquant l'utilisation de seulement deux forets avant de pouvoir mettre en place l'implant, implique dans la théorie que la procédure devrait permettre de gagner du temps. Cependant, il n'a pas été démontré que cette

procédure permettait de gagner du temps mais au contraire, certaines études ont démontré que cette procédure multipliait le temps par deux par rapport à un protocole conventionnel car « la procédure était effectuée uniquement en guidant le foret sans exercer de forces »⁽¹¹⁾. Pour les auteurs de cette étude, l'absence de force lors du guidage des forets ne devrait pas avoir d'importance dans les cas d'implants uniques, mais pourrait être un problème lorsque plusieurs implants sont posés ou dans des cas de réhabilitation plurale, ce qui entraînerait des séances chirurgicales prolongées.⁽¹¹⁾

IV.2.4 Bruit

Le bruit aigu généré lors du forage est considéré comme le principal déclencheur de la détresse du patient⁽³⁷⁾. En comparaison, l'OsseoShaper tournant à vitesse lente (50 RPM) produit des sons significativement moins élevés que les forets conventionnels. De même, les basses vitesses génèrent moins de vibrations et diminuent l'inconfort du patient durant l'intervention. La réduction du bruit et des vibrations permises par ces nouveaux protocoles de forage peuvent être une mesure efficace de prévention de l'anxiété.⁽³⁷⁾

IV.2.5 Stabilité primaire, densité osseuse et prédictibilité

L'utilisation du foret OsseoShaper permettrait, selon Velikov et *al.*,⁽³⁸⁾ de prédire le couple d'insertion finale de l'implant. Une forte corrélation positive linéaire ($r = 0,927$, $p < 0,001$) a été observée entre le couple d'insertion de l'OsseoShaper1 et le couple d'insertion de l'implant dans l'os trabéculaire bovin ($n = 10$) ; par contre, une corrélation positive modérée non significative ($r = 0,587$, $p = 0,126$) a été relevée pour le foret conventionnel ($n = 8$). Autrement dit, le couple OS1 était fortement corrélé au couple d'insertion final, à la fois dans les substituts osseux et dans l'os trabéculaire, tandis que le couple de forage conventionnel était faiblement corrélé au couple d'insertion final de l'implant⁽³⁸⁾. En conclusion, contrairement à l'OsseoShaper1, il n'y a aucune prévisibilité du couple d'insertion de l'implant basée sur une ostéotomie réalisée avec des forets conventionnels ($R^2(\text{pred}) = 0,77$ et $R^2(\text{pred}) = 0,06$ respectivement, (Tableau 6)⁽³⁸⁾.

		Pearson correlation		Linear regression				
		r	P-value	Equation (y=ax+b) ⁽¹⁾	R ²	S ⁽²⁾	R ² (pred) ⁽³⁾	p-value
Figure 4	All length pooled	0.99	<0.001	y = 3.478x + 3.904	0.979	2.33	0.979	<0.001
Figure 5	OS1	0.927	<0.001	y = 1.408x + 4.83	0.860	6.21	0.768	<0.001
	Conventional drill	0.587	0.126	y = 5.08x + 11.3	0.344	10.95	0.057	0.126

⁽¹⁾y= maximum implantation torque (Ncm), x= site preparation torque in Ncm (OS1 or Conventional drill)

⁽²⁾S: Standard Error of the Regression

⁽³⁾R²(pred): it determines how well the model predicts new observations based on the linear regression equation

Tableau 6 : Corrélation entre le couple d'insertion de l'implant et le couple de préparation du site ⁽³⁸⁾

La corrélation existante entre la densité osseuse et le couple de l'OsseoShaper1 peut aider à prédire la qualité osseuse et peut servir de prédicteur du couple d'insertion de l'implant ⁽³⁸⁾.

Dans une étude comparative de Velikov et al. ⁽²⁹⁾, les implants N1 (Nobel Biocare®) avaient le couple d'insertion maximal le plus élevé, le plus petit basculement et micromouvement par rapport au NobelReplace (Nobel Biocare®). Ainsi le N1 a montré un couple d'insertion (IT) suffisant pour résister à une charge cyclique d'au moins 70N. Cependant d'après l'étude de Cha et al. ⁽²⁷⁾, les implants placés avec un couple d'insertion (IT) élevé présentent généralement une stabilité primaire, ce qui, en effet, permet une mise en charge précoce mais créerait des contraintes inter-faciales élevées associées à des dommages osseux péri-implantaire. Selon les auteurs, l'ostéotomie entraîne une zone étroite d'ostéocytes morts et mourants dans l'os péri-implantaire qui n'est pas significativement agrandie en réponse aux implants placés avec un faible IT. La pose d'implants avec un IT élevé fait plus que doubler cette zone d'ostéocytes morts et mourants. ⁽²⁷⁾.

IV.2.6 Déformation forage

Dans les protocoles de forage conventionnels, un pré-forage est réalisé dans l'axe puis agrandi progressivement grâce à l'utilisation de forets de diamètres croissants. Un pré-forage est également créé avant l'utilisation de l'OsseoShaper, après quoi l'ostéotomie de taille finale est réalisée en une seule étape. Pour Chen et al., dans les protocoles de forage conventionnels, l'utilisation de forets multiples augmente le risque de

s'écarter de l'axe prévu de l'ostéotomie, ce qui à son tour a un impact sur l'axe de l'implant ⁽³⁹⁾. En réduisant le nombre de forets chirurgicaux nécessaires pour produire l'ostéotomie finale, l'erreur d'alignement est également efficacement réduite ⁽⁴⁰⁾, et la pose ultérieure de l'implant suivra l'axe du dernier foret. ⁽¹²⁾

Cependant cela ne réduit pas le risque opérateur dépendant d'une erreur d'axe de forage et même pose un problème car, en cas d'erreur, il y a moins de possibilités de rattraper l'axe.

V. Cas cliniques

Entre décembre 2021 et mars 2023, 12 implants ont été posés chez 5 patients pour réhabiliter des édentements maxillaires ou mandibulaires, unitaires ou pluraux dans le service de réhabilitations orales du pôle odontologie de la Timone.

V.1 Cas clinique 1

Mr. FOU. C. 67 ans, venu en consultation pour la réhabilitation de 34-35-36 (Fig 18). Il présente un antécédent de lymphome traité, mais sans aucune contre-indication à la chirurgie au moment de l'intervention. Après examen clinique, le plan d'occlusion ne présentait pas d'altérations, l'espace mésio-distal était cohérent avec la pose de 3 implants, la hauteur de tissu kératinisé était suffisante et le patient présentait un guidage antérieur fonctionnel. Après signature du consentement éclairé, acceptation du devis et réalisation d'un CBCT, le projet thérapeutique a consisté en la mise en place de 3 implants Nobel Biocare® N1 en 34, 35 et 36 en vue de réaliser 3 couronnes solidarisées.

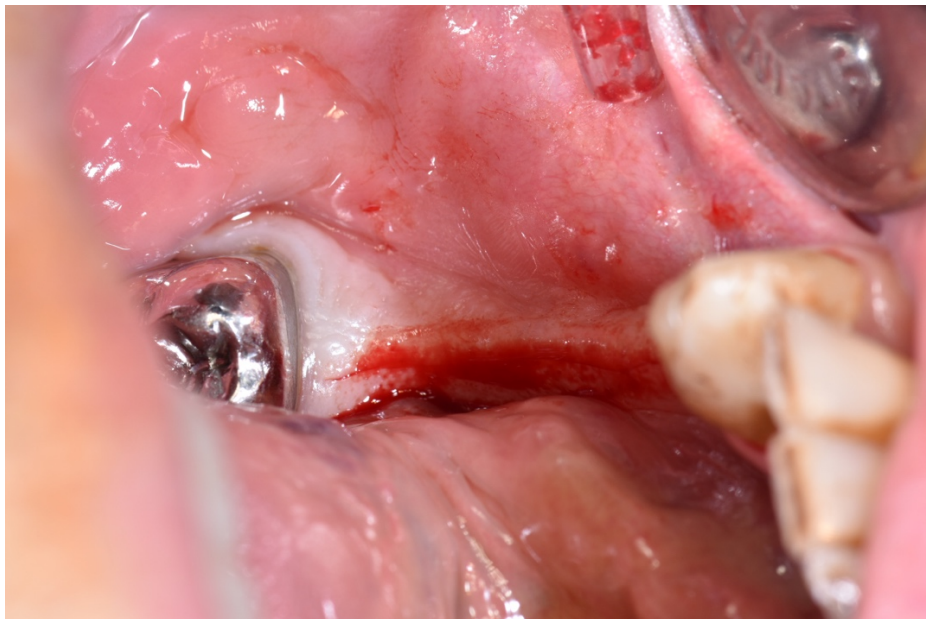


Figure 18 : site avant incision

Après une anesthésie locale péri-apicale, des incisions crestale déportée en lingual et intra-sulculaire (Fig. 19a) ont été réalisées, suivies d'un décollement du lambeau en pleine épaisseur sans incision de décharge. (Fig. 19c)

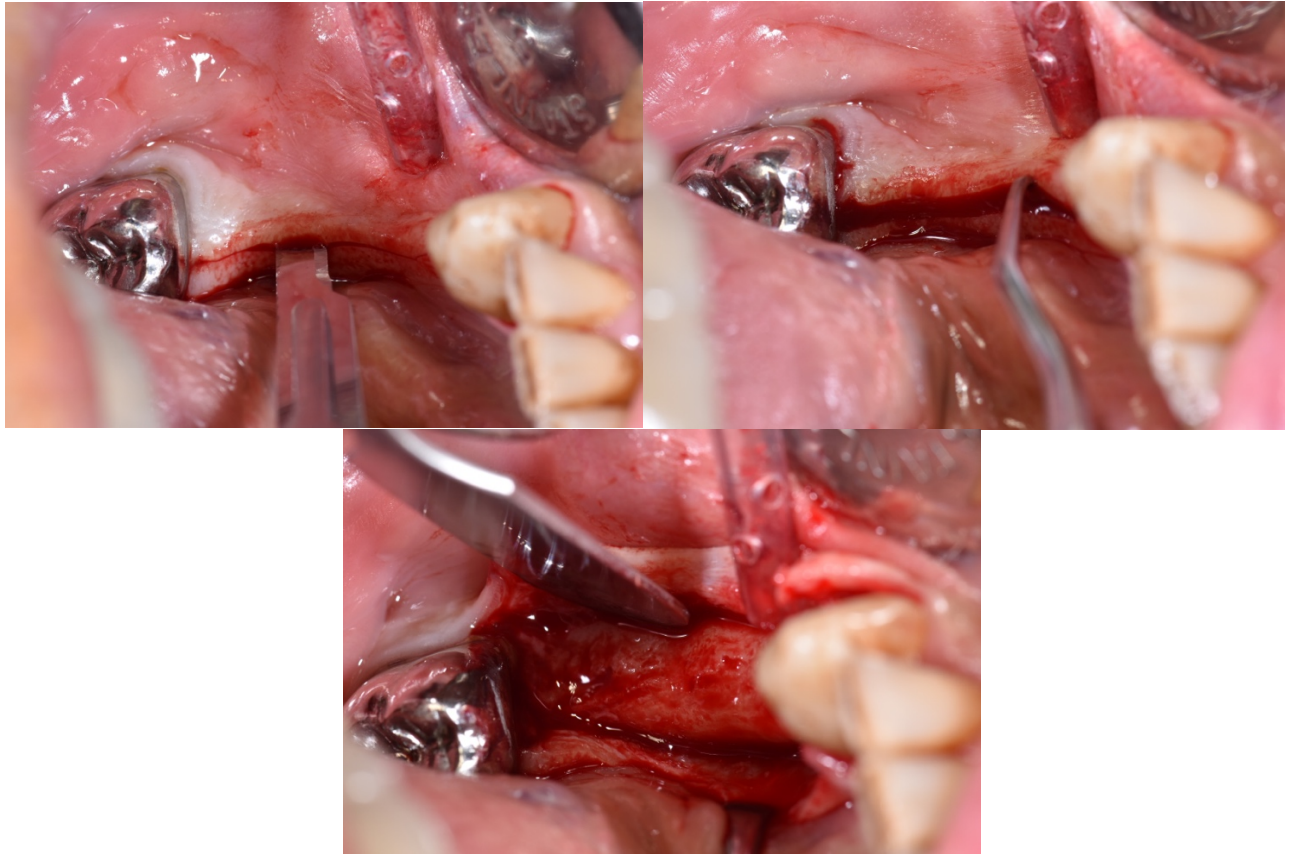


Figure 19a (haut gauche): l'incision avec une lame de 15
Figure 19b (haut droite): section des fibres du périoste avec CK6
Figure 19c : décollement en pleine épaisseur

Après exposition de l'os, les émergences des implants ont été déterminées à l'aide de la jauge graduée. Le premier foret OsseoDirector (Fig. 20a, 20b et 20c), a été utilisé à 2000 RPM avec irrigation (Fig. 20d), pour préparer le site implantaire dans l'axe prothétique idéal à la profondeur de l'implant.

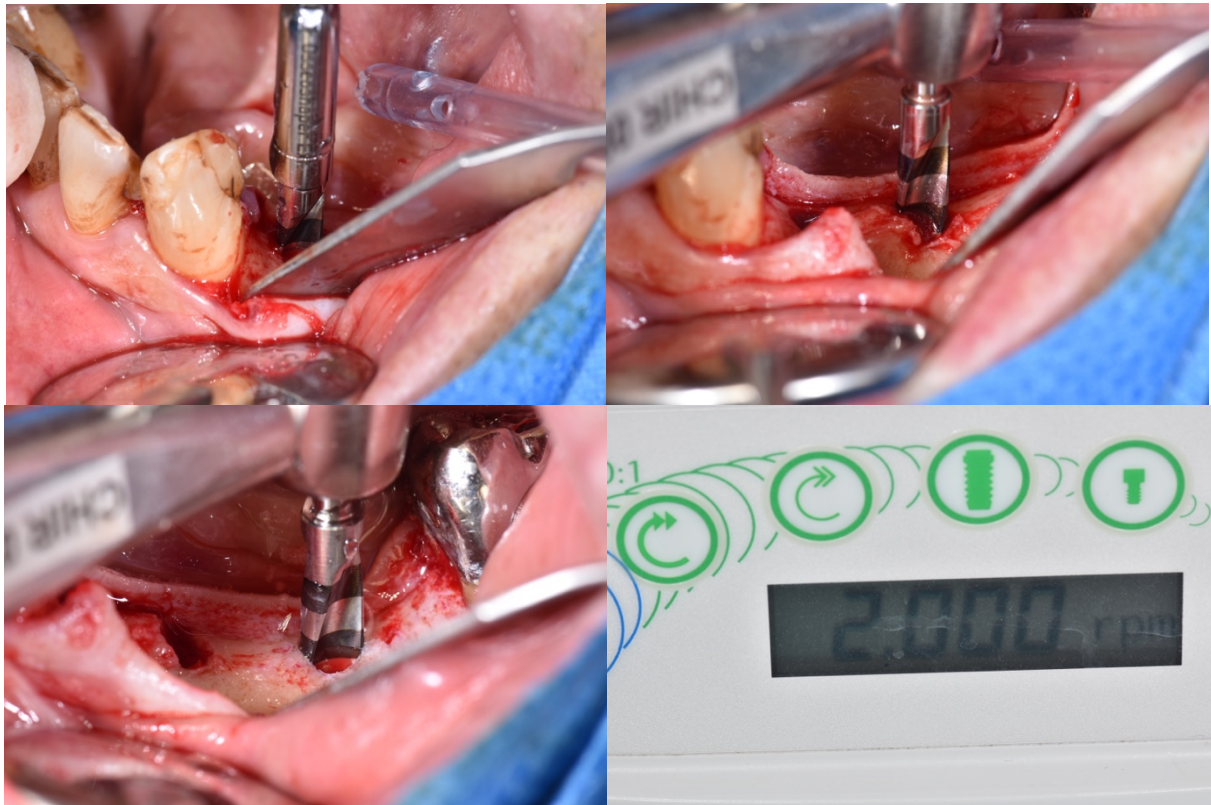


Figure 20a, b, c : passage de l'OsseoDirector en place de 34, 35 et 36 avec irrigation à 2000rpm (Figure 20d)

Le second foret, l'Osseoshaper1 (OS1), adapté au diamètre et à la longueur propres à chaque implant, a permis une mise en forme finale des puits de forage. L'OS1 a été utilisé à 50 RPM et sans irrigation. Dans ce cas, un OS1 a été utilisé pour les forages des 2 implants NP 3,5mm x 9mm planifiés en 34 et 35 (Fig. 21a et b). Pour l'implant RP 4 mm x 9mm planifié en 36, un OS1 correspondant a permis de réaliser le forage de ce site (Fig. 22a, b et c).

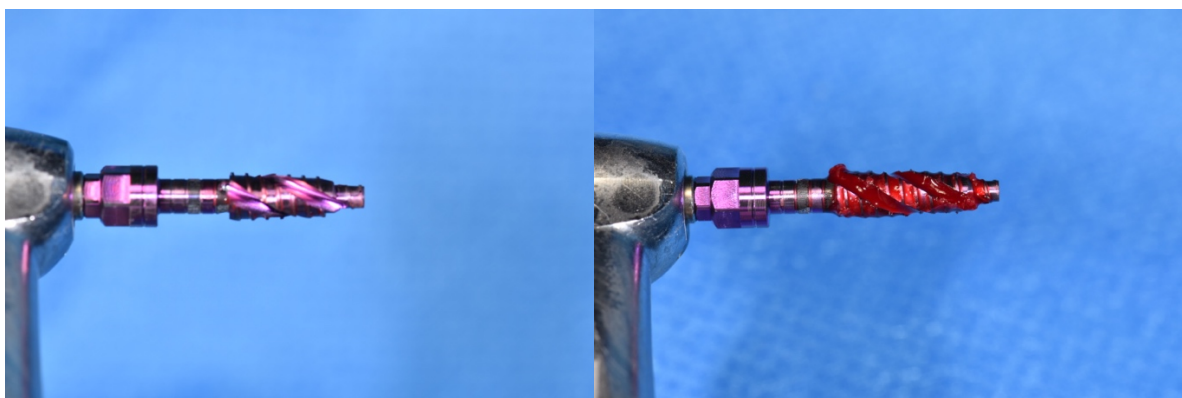


Figure 21a : Osseoshaper1 NP avant forage
 Figure 21b : Osseoshaper1 NP après forage

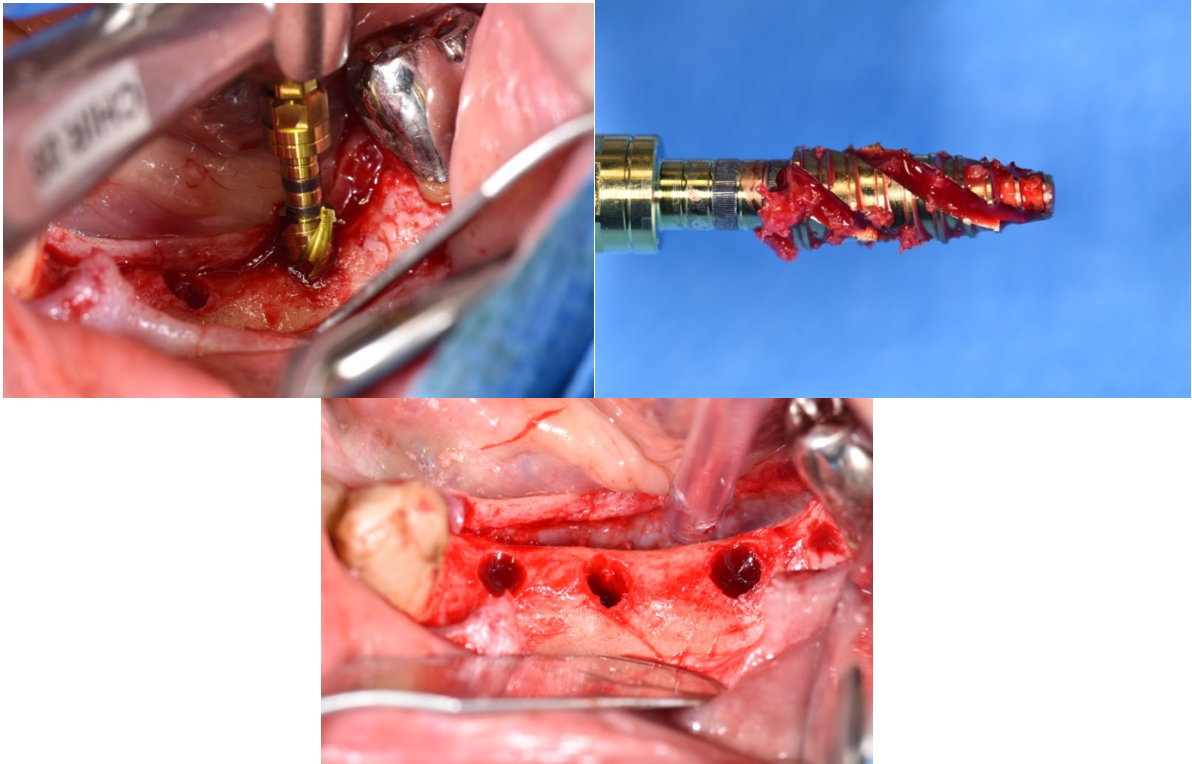


Figure 22 a : passage de l'OsseoShaper1 RP en 36 à 50rpm - Figure 22b : OsseoShaper1 RP après forage
 Figure 22c : site forage après mise en forme par l'OS1

Mise en place de l'implant N1 NP 3,5mm x 9mm sur le porte-implant et mise en place en 34 et 35 avec un couple de serrage de 30N.cm. (Fig. 23a, b, c et d).

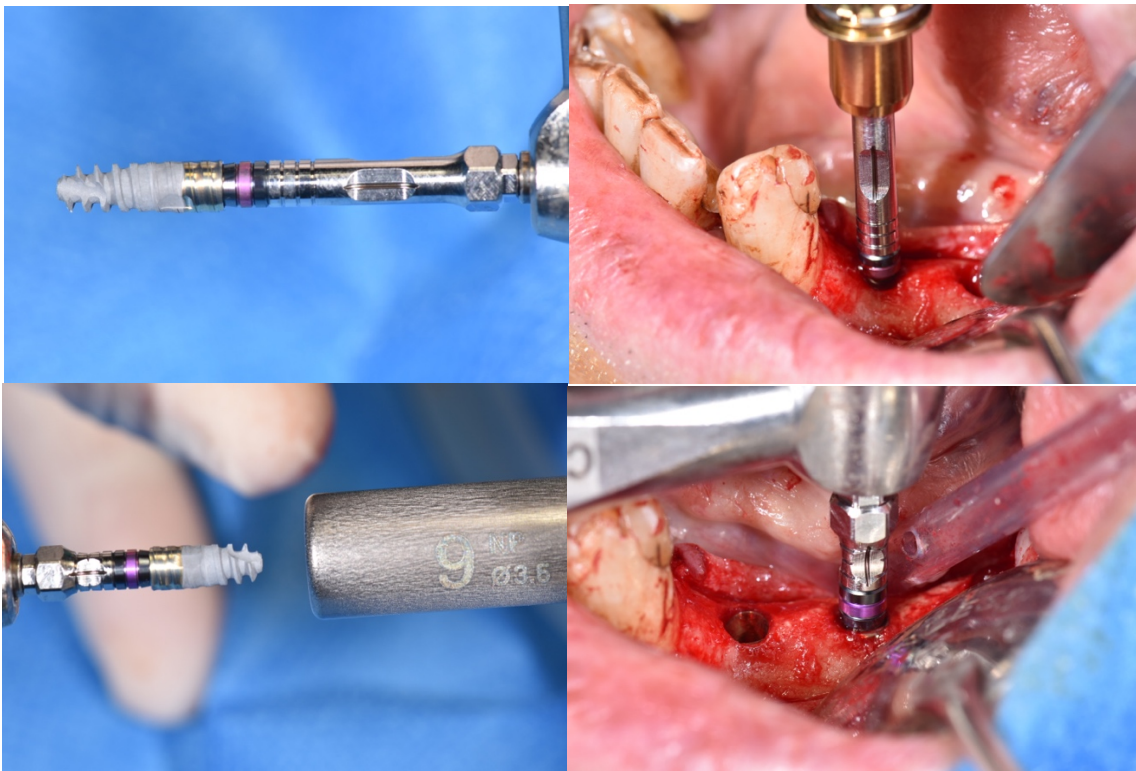


Figure 23a : implant N1 NP avant mise en place en 34- Figure 23b : mise en place de l'implant N1 NP en 34
 Figure 23c : implant N1 NP avant mise en place en 35 - Figure 23d : mise en place de l'implant N1 NP en 35

Mise en place de l'implant RP 4mm x 9mm en 36 avec un couple de serrage de 40N.cm.

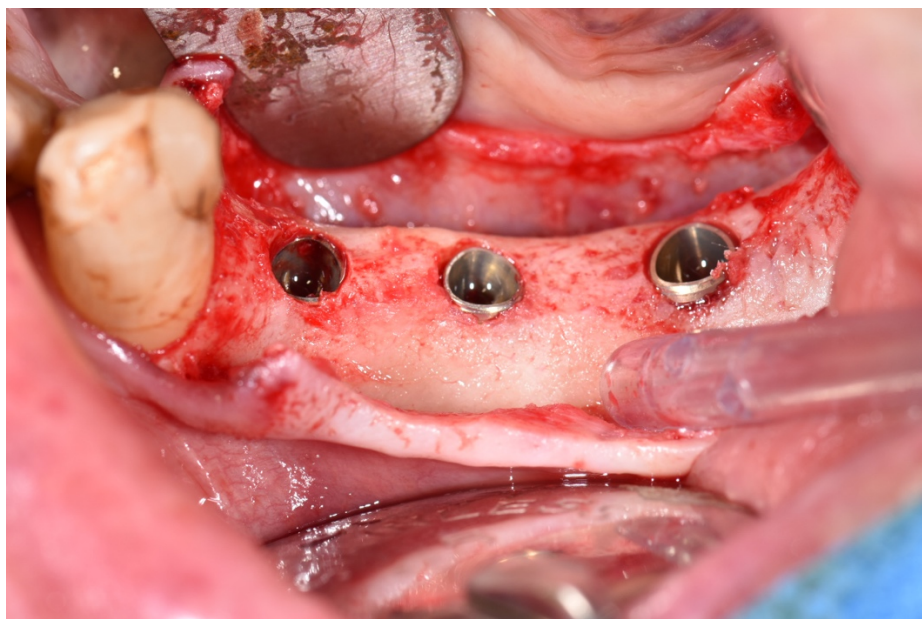


Figure 24 : Site d'implantation après mise en place des implants N1

Après 3 mois de cicatrisation, l'ostéo-intégration a été contrôlée radiologiquement et la réouverture du site a été réalisée avec mise en place des piliers de cicatrisation.

Après 4 semaines de cicatrisation, des piliers MUA droits de hauteur 1,5mm ont été mis en place et serrés à 25N/cm selon les recommandations du fabricant. Lors de la même séance, une empreinte à ciel ouvert a été réalisée.

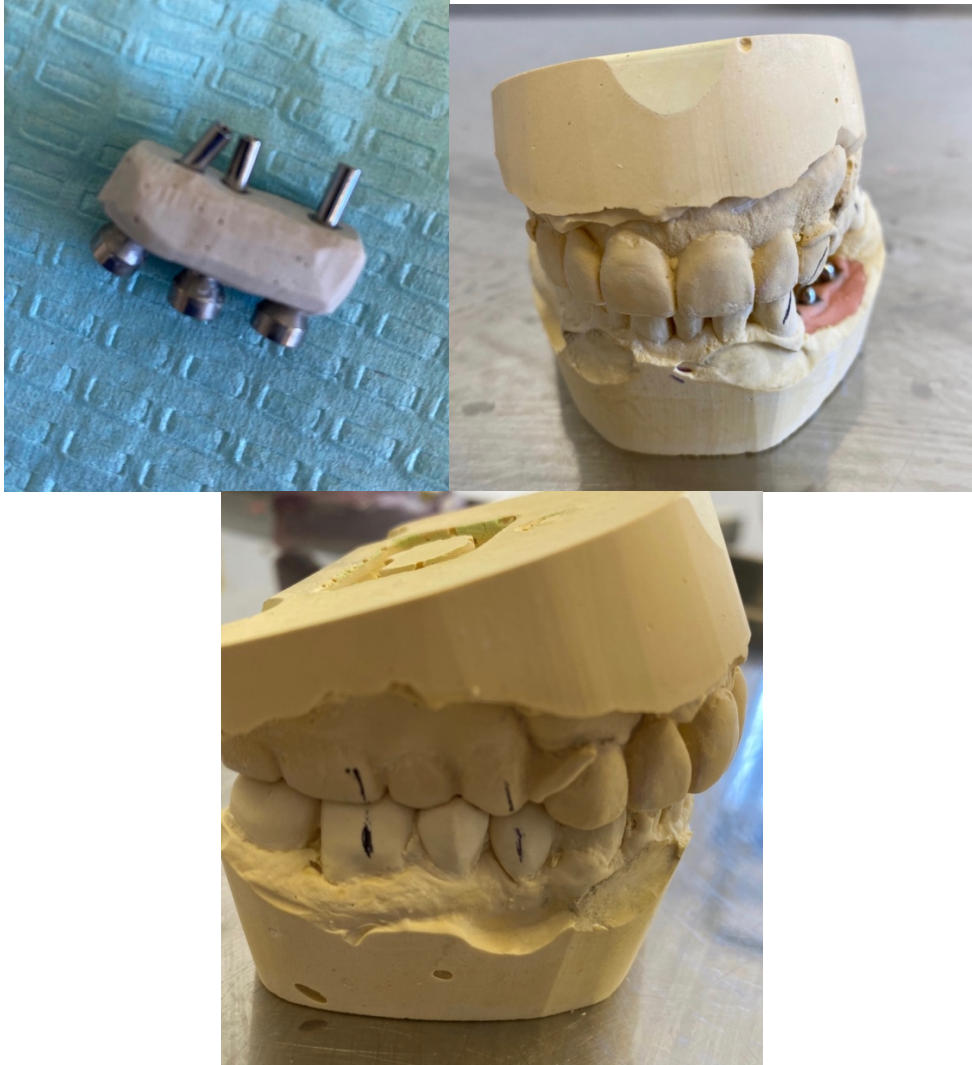


Figure 25a : clé en plâtre

Figure 25b et c : moulage arcade maxillaire et mandibulaire après empreinte à ciel ouvert

Après validation de la clé en plâtre (Fig. 25a), un prototype en résine de l'armature a été essayé (Fig. 26a, b, c, d, e et f) et la teinte enregistrée (Fig. 26g).

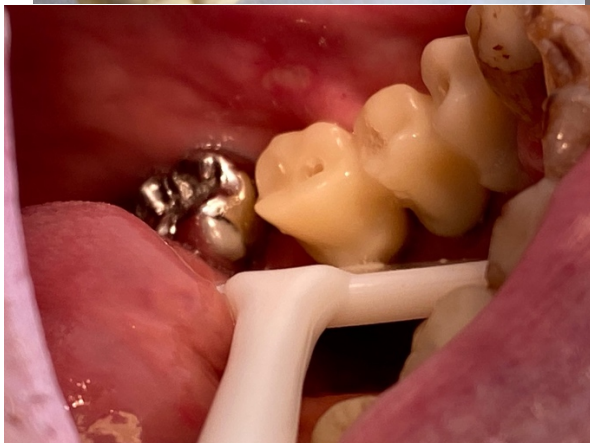




Figure 26a, b, c et d : armature en résine livrée sur le moulage - Figure 26e et f : mise en place de l'armature en résine en bouche - Figure 26g : prise de la teinte

Après enregistrement de la relation maxillo-mandibulaire sur l'armature, la prothèse est finalisée par le laboratoire : armature zircone avec embase en titane (Fig. 27). L'occlusion des coiffes a été réglée en OIM, propulsion et latéralités. Enfin, les couronnes implanto-portées sont serrées avec la clef dynamométrique à 15N.cm selon les recommandations du fabricant (Fig. 28).



Figure 27 : Mise en bouche des couronnes solidarées (prothèse d'usage)



Figure 28 : serrage des vis de prothèse à 15N/cm

VI. Conclusion

Le forage sans irrigation à basse vitesse permet une nouvelle vision des protocoles de forage pour la mise en place d'implants intra-osseux. Cette nouvelle approche permet de résoudre certains problèmes liés aux protocoles de forage traditionnels comme l'échauffement, le bruit et les vibrations et aurait pour avantages une diminution du traumatisme osseux, une meilleure ostéo-intégration et une diminution du temps opératoire.

Le fabricant innove ainsi dans un domaine où peu de travaux de recherche ont été menés. Aucun autre système d'implant commercialisé n'est conçu spécifiquement pour un forage à basse vitesse et sans irrigation, ce qui impose une certaine prudence dans l'analyse des résultats dans la littérature.

Les premiers résultats semblent montrer que ce protocole n'endommage pas plus l'os que le protocole conventionnel. Le gain de temps opératoire et la réduction du bruit et des vibrations sont bénéfiques pour le patient. Cliniquement, plusieurs inconvénients nous sont apparus. La réduction du protocole à 2 forets (Osseodirector puis Osseoshaper1) permet, selon le fabricant, de diminuer le temps opératoire et limiter le risque de déviation lors du forage. Si le gain de temps opératoire est réel, en revanche le passage de l'Osseodirector doit se faire dans un axe proche de l'axe idéal d'emblée ce qui nécessite un opérateur expérimenté. Toute modification de l'axe de forage avec ce foret élargit considérablement le forage initial au risque de diminuer la stabilité primaire de l'implant. De plus, les graduations noires de ce foret argenté rendent la visualisation des profondeurs de forage plus difficile avec irrigation, que sur des forets conventionnels noirs aux graduations argentées. Enfin, d'un point de vue financier, le gain autorisé par la réduction du nombre de foret s'annule car le passage du premier foret nécessite une tubulure et une poche de sérum physiologique.

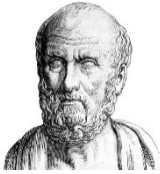
D'autres études seront probablement nécessaires pour mieux évaluer les avantages mécaniques et physiologiques des forages à basse vitesse, afin de savoir si ces nouveaux protocoles remplaceront les protocoles conventionnels de forages à haute vitesse avec irrigation pour devenir la norme, comme les implants à surface rugueuse ou le « switching platform ».

BIBLIOGRAPHIE

1. P I Brånemark. Osseointegration and its experimental background.
2. Jonathan Soudrain. Evolution de l'état de surface des implants : état actuel des connaissances. Aix-Marseille Université, Faculté d'Odontologie; 2012.
3. Alshehri, Mohammed. Influence of Implant Shape (Tapered vs Cylindrical) on the Survival of Dental Implants Placed in the Posterior Maxilla A Systematic Review. *Implant Dent.* déc 2016;855-60.
4. Riccardo Caricasulo MSc, DDS, Luciano Malchiodi MD, DDS, Paolo Ghensi DDS, Oral Surgery MClin Dent, Clin MSc, Giuliano Fantozzi MSc, DDS, Alessandro Cucchi PhD, Clin MSc, DDS. The influence of implant-abutment connection to peri-implant bone loss: A systematic review and meta-analysis. 15 May 2018. 2018;20:653-64.
5. Wang L, Aghvami M, Brunski J, Helms J. Biophysical regulation of osteotomy healing: An animal study: WANG et al. *Clin Implant Dent Relat Res.* août 2017;19(4):590-9.
6. Branemark P-I, Zarb GA, Albrektsson T. Introduction to osseointegration. CHICAGO. 1985. (Tissue- integrated Protheses, Quintessence Publ. Co.).
7. Currey, John D. The mechanical adaptations of bones. Princet NJ Princet Univ Press. 1984;
8. Roberts WE. Bone physiology and metabolism. *J Calif Dent Assoc.* 1987;15:54-61.
9. Misch CE, éditeur. Contemporary implant dentistry. St. Louis: Mosby; 1993. 779 p.
10. Berglundh T, Abrahamsson I, Lang NP, Lindhe J. De novo alveolar bone formation adjacent to endosseous implants. 2003;14:251-62.
11. Calvo-Guirado JL, Delgado-Peña J, Maté-Sánchez JE, Mareque Bueno J, Delgado-Ruiz RA, Romanos GE. Novel hybrid drilling protocol: evaluation for the implant healing - thermal changes, crestal bone loss, and bone-to-implant contact. *Clin Oral Implants Res.* juill 2015;26(7):753-60.
12. Chen CH, Coyac BR, Arioka M, Leahy B, Tulu US, Aghvami M, et al. A Novel Osteotomy Preparation Technique to Preserve Implant Site Viability and Enhance Osteogenesis. *J Clin Med.* 1 févr 2019;8(2):170.
13. Benjamin Droz Bartholet, Waltmann, Étienne. Le forage implantaire sans irrigation continue dans le but de prélever les copeaux d'os autogène issus de la préparation osseuse. [Strasbourg]: Université de Strasbourg; 2021.
14. Chrcanovic B, Albrektsson T, Wennerberg A. Bone Quality and Quantity and Dental Implant Failure: A Systematic Review and Meta-analysis. *Int J Prosthodont.* mai 2017;30(3):219-37.
15. Jaffin RA, Berman CL. The Excessive Loss of Branemark Fixtures in Type IV Bone: A 5-Year Analysis. *J Periodontol.* janv 1991;62(1):2-4.

16. Bert M. Complications et échecs en implantologie. Paris: Editions CdP; 1994.
17. Eriksson AR, Albrektsson T. Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: A vital-microscopic study in the rabbit. *J Prosthet Dent.* juill 1983;50(1):101-7.
18. Franquin JC, Taieb A, Benhaim L, Chezeaux JC, Bismuth W. [Infrared telethermometry measuring method for temperature elevations in implantology]. *Inf Dent.* 15 juin 1989;71(24):2083-92.
19. IYER S, WEISS C, MENTA A. Effects of drill speed on heat production and the rate and quality of bone formation in dental implant osteotomies. Part I: Relationship between drill speed and heat production. *Int J Prosthodont.* 1997;5:411-4.
20. IYER S, WEISS C, MENTA A. Effects of drill speed on heat production and the rate and quality of bone formation in dental implant osteotomies. Part II: Relationship between drill speed and healing. *Int J Prosthodont.* 1997;6:536-40.
21. KLINGLER E. La résorption osseuse au cours du déplacement dentaire provoqué. *Trans Eur Orthod Soc.* 1972;
22. FRIBERG B. Pose d'implants en fonction de la densité de l'os. *Implant.* 2001;7:5-11.
23. TRUHLAR, R S. Distribution of bone quality in patients receiving endosseous dental implants. *J Oral Maxillofac Surg.* 1997;12:38-45.
24. Stavropoulos A, Cochran D, Obrecht M, Pippenger BE, Dard M. Effect of Osteotomy Preparation on Osseointegration of Immediately Loaded, Tapered Dental Implants. *Adv Dent Res.* mars 2016;28(1):34-41.
25. Albogha MH, Takahashi I. Generic finite element models of orthodontic mini-implants: Are they reliable? *J Biomech.* nov 2015;48(14):3751-6.
26. Wang L, Wu Y, Perez KC, Hyman S, Brunski JB, Tulu U, et al. Effects of Condensation on Peri-implant Bone Density and Remodeling. *J Dent Res.* avr 2017;96(4):413-20.
27. Cha JY, Pereira MD, Smith AA, Houschyar KS, Yin X, Mouraret S, et al. Multiscale Analyses of the Bone-implant Interface. *J Dent Res.* mars 2015;94(3):482-90.
28. Popelut A, Rooker SM, Leucht P, Medio M, Brunski JB, Helms JA. The acceleration of implant osseointegration by liposomal Wnt3a. *Biomaterials.* déc 2010;31(35):9173-81.
29. Velikov S, Camenzind M, Fabech J, et al. Stability of a New Trioval Implant in Bone Surrogate Model. 2020;
30. Chen CH, Pei X, Tulu US, Aghvami M, Chen CT, Gaudillière D, et al. A Comparative Assessment of Implant Site Viability in Humans and Rats. *J Dent Res.* avr 2018;97(4):451-9.
31. Aghvami M, Brunski JB, Serdar Tulu U, Chen CH, Helms JA. A Thermal and Biological Analysis of Bone Drilling. *J Biomech Eng.* 1 oct 2018;140(10):101010.

32. Sezek S, Aksakal B, Karaca F. Influence of drill parameters on bone temperature and necrosis: A FEM modelling and in vitro experiments. *Comput Mater Sci.* juill 2012;60:13-8.
33. Mihali SG, Canjau S, Cernescu A, Bortun CM, Wang HL, Bratu E. Effects of a Short Drilling Implant Protocol on Osteotomy Site Temperature and Drill Torque. *Implant Dent.* févr 2018;27(1):63-8.
34. Agnieszka Meljon, Markus Geisendorf, Simon Kamber. EAO-353/PO-CI-003 | Evaluation of heat generated by a new site preparation using low-speed tools without irrigation. *Clin Oral Implants Res.* déc 2021;32(S22):111-111.
35. Carvalho AC, Queiroz TP, Okamoto R. Evaluation of bone heating, immediate bone cell viability, and wear of high-resistance drills after the creation of implant osteotomies in rabbit tibias. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2011;6:1193-201.
36. Bonfield W, Li CH. The temperature dependence of the deformation of bone. *J Biomech.* déc 1968;1(4):323-9.
37. Zemp J., Velikov S., Sergej W. New Low-speed Site Preparation Protocol Significantly Reduces Noise. 2020;
38. Velikov S, Susin C, Heuberger P, Irastorza-Landa A. A New Site Preparation Protocol That Supports Bone Quality Evaluation and Provides Predictable Implant Insertion Torque. *J Clin Med.* 11 févr 2020;9(2):494.
39. Schneider D, Marquardt P, Zwahlen M, Jung R.E. A systematic review on the accuracy and the clinical outcome of computer-guided template-based implant dentistry. *Clin Oral Implants Res.* 2009;73-86.
40. Horwitz J, Zuabi O, Machtei E.E. Accuracy of a computerized tomography-guided template-assisted implant placement system: an in vitro study. *Clin Oral Implants Res.* 2009;20:73-86.



SERMENT MEDICAL

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Que je sois déshonoré et méprisé de mes confrères si j'y manque.

STÉPHAN Thomas – Forage à basse vitesse sans irrigation : Une nouvelle approche pour optimiser l'ostéointégration implantaire

Th. : Chir. dent. : Marseille : Aix-Marseille Université : 2023

Rubrique de classement : Implantologie

Résumé :

Depuis 50 ans, la recherche et les innovations technologiques, visant essentiellement à améliorer l'ostéo-intégration, ont surtout concerné l'implant lui-même. La mise en place de l'implant était jusqu'alors précédée d'un protocole de forage à grande vitesse sous irrigation. Récemment sont apparus des protocoles de forage à basse vitesse, sans irrigation, visant à optimiser l'ostéo-intégration.

Ces nouveaux protocoles permettraient ainsi de réduire les traumatismes osseux liés au forage classique à grande vitesse, et l'absence d'irrigation, de maintenir un coagulum osseux, ceci afin d'améliorer l'ostéo-intégration.

Après un rappel sur l'ostéo-intégration, nous aborderons, dans une seconde partie, les différents protocoles de forage conventionnels à haute vitesse avec irrigation en fonction des densités osseuses, puis nous présenterons ces nouveaux protocoles de forage à basse vitesse sans irrigation, au travers de l'étude d'un système implantaire.

Enfin, dans une troisième partie, nous synthétiserons les avantages et les inconvénients supposés de ces protocoles, au travers de la présentation de plusieurs cas cliniques, avant de conclure.

Mots-clés : osteo-intégration ; forage ; implant ; irrigation.

STÉPHAN Thomas – Low speed drilling without irrigation : A new approach to improve osseointegration

Abstract:

For 50 years, research and technological innovations, essentially aimed at improving osseointegration, have mainly concerned the implant itself. Implant placement was previously preceded by a high-speed drilling protocol under irrigation. Recently, low-speed drilling protocols have appeared, without irrigation, aimed at optimizing osseointegration.

These new protocols would thus make it possible to reduce the bone trauma associated with conventional high-speed drilling, and the absence of irrigation, to maintain a bone coagulum, in order to improve osseointegration.

After a reminder on osseointegration, we will discuss, in a second part, the various conventional high-speed drilling protocols with irrigation according to bone densities, then we will present these new low-speed drilling protocols without irrigation, at the through the study of an implant system. Finally, in the third part, we will summarize the supposed advantages and disadvantages of these protocols, through the presentation of several clinical cases, before concluding.

Keywords : osseointegration ; drilling ; implant ; irrigation.