



HAL
open science

Les couples d'insertion élevés : un danger pour nos implants ?

Jules Reignier

► **To cite this version:**

Jules Reignier. Les couples d'insertion élevés : un danger pour nos implants?. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-02339496

HAL Id: dumas-02339496

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02339496v1>

Submitted on 30 Oct 2019

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

AVERTISSEMENT

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

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

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



UNIVERSITÉ
PARIS
DESCARTES

MEMBRE DE

U-PC
Université Sorbonne
Paris Cité

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2019

N° 046

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le : 24 juin 2019

Par

Jules REIGNIER

Les couples d'insertion élevés : un danger pour nos implants ?

Dirigée par M. le Docteur Stéphane Milliez

JURY

M. le Professeur Louis Maman

Président

Mme le Docteur Claudine Wulfman

Assesseur

M. le Docteur Stéphane Milliez

Assesseur

M. le Docteur Alexandre Comte

Assesseur

M. le Docteur Philippe Khayat

Invité



Tableau des enseignants de la Faculté

DÉPARTEMENTS	DISCIPLINES	PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS	MAÎTRES DE CONFÉRENCES
1 DÉVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PRÉVENTION	ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE	Mme DAVIT-BÉAL Mme DURSUN Mme VITAL	M. COURSON Mme JEGAT Mme SMAIL-FAUGERON Mme VANDERZWALM
	ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE		Mme BENAHMED M. DUNGLAS Mme KAMOUN Mme LE NORCY
	PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ ET ODONTOLOGIE LÉGALE	Mme FOLLIGUET M. PIRNAY	Mme GERMA M. TAVERNIER
2 CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE	PARODONTOLOGIE	Mme COLOMBIER Mme GOSSET	M. BIOSSE DUPLAN M. GUEZ
	CHIRURGIE ORALE	M. MAMAN Mme RADOI	Mme EJEIL M. GAULTIER M. HADIDA M. MOREAU M. NGUYEN
	BIOLOGIE ORALE	Mme CHAUSSAIN M. GOGLY Mme SÉGUIER Mme POLIARD	M. ARRETO Mme BARDET (MCF) Mme CHARDIN M. FERRE M. LE MAY
3 RÉHABILITATION ORALE	DENTISTERIE RESTAURATRICE ENDODONTIE	Mme BOUKPESSI Mme CHEMLA	Mme BERÈS Mme BESNAULT M. BONTE Mme COLLIGNON M. DECUP Mme GAUCHER
	PROTHÈSES		M. CHEYLAN M. DAAS M. DOT M. EID Mme FOUILLOUX-PATEY Mme GORIN M. RENAULT M. RIGNON-BRET M. TIRLET M. TRAMBA Mme WULFMAN
	FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATÉRIAUX	M. SALMON	M. ATTAL Mme BENBELAID Mme BENOÎT A LA GUILLAUME (MCF) M. BOUTER M. CHARRIER M. CHERRUAU M. FLEITER Mme FRON CHABOUIS Mme MANGIONE Mme TILOTTA
	PROFESSEURS ÉMÉRITES	M. BÉRENHOLC Mme BRION M. LASFARGUES M. LAUTROU M. LEVY	M. PELLAT M. PIERRISNARD M. SAFFAR Mme WOLIKOW

Mise à jour le 23 avril 2019

Remerciements

À M. le Professeur Louis Maman

Docteur en Chirurgie dentaire

Spécialiste qualifié en Chirurgie orale

Docteur en Sciences odontologiques

Habilité à Diriger des Recherches

Professeur des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Doyen de la Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Avec toute ma reconnaissance pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury de thèse d'exercice. Veuillez trouver ici le témoignage de ma gratitude et de mon profond respect.

À Mme le Docteur Claudine Wulfman

Docteur en Chirurgie dentaire

Spécialiste qualifiée en Médecine bucco-dentaire

Ancien Interne des Hôpitaux

Docteur de l'Université Paris 13

Habilité à Diriger des Recherches

Maître de Conférences des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Qui me fait l'honneur de siéger à ce jury de thèse. Merci de m'avoir fait confiance et de m'avoir donné tant de bons conseils pendant ces années d'études quand certains cas s'avéraient difficiles. Merci pour la bonne ambiance que vous avez apportée dans le service. Veuillez trouver le témoignage de ma sincère reconnaissance et de mon profond respect.

À M. le Docteur Stéphane Milliez

Docteur en Chirurgie dentaire

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Pour m'avoir fait l'honneur de diriger cette thèse. Merci pour vos précieux conseils lors de la rédaction. Merci aussi pour votre pédagogie lors de ces dernières années qui m'a permis d'avoir un peu plus confiance en mes capacités. Veuillez trouver ici le témoignage de ma sincère reconnaissance et de mon plus profond respect.

À M. le Docteur Alexandre Comte

Docteur en Chirurgie dentaire

Assistant Hospitalo-Universitaire, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Qui me fait l'honneur de siéger à ce jury de thèse en tant qu'enseignant mais également en tant qu'ami. Merci pour ces années de rire, de partage mais également de conseils avisés qui m'ont permis de prendre conscience des multiples facettes de notre pratique. Veuillez trouver ici le témoignage de ma sincère reconnaissance et de mon plus profond respect.

À M. le Docteur Philippe Khayat

Docteur en Chirurgie dentaire

Professeur assistant affilié à l'Université de Washington

Merci de me faire l'immense honneur de siéger à ce jury de thèse. Pour commencer, merci de m'avoir convaincu de choisir ce sujet. Comme co-directeur de thèse, je n'aurais pas pu choisir mieux. Vous m'avez aidé à construire ma thèse en y apportant vos précieux conseils et votre regard professionnel. Je vous remercie de la disponibilité dont vous avez fait preuve et de votre pédagogie au cours de ces 2 dernières années à vous assister. Veuillez trouver ici le témoignage de ma sincère reconnaissance et de mon plus profond respect.

Remerciements :

A ma femme et ma fille, Solenne et Ambre, merci d'apporter tant de joie et d'amour dans ma vie. Elle ne saurait être plus belle sans vous.

A mes parents et grands-parents, si présents autour de moi tous les jours que la vie me donne. Pas une seule seconde vous n'avez douté de moi, de la P1 à aujourd'hui vous avez soutenu mon parcours et m'avez encouragé. Vous êtes une vraie force pour moi.

A mes frères (beau-frères) et sœurs qui me permettent de devenir quelqu'un de meilleur.

A mes amis saint-maritains, ma seconde famille, pas un évènement sans votre présence. Vous avez forgé une grande partie de mon caractère qui fait ma force aujourd'hui.

A mon ami Etienne, merci de m'avoir offert ton soutien au cours de ma deuxième P1 mais aussi dans certains choix de ma vie. Une amitié sincère à laquelle je tiens énormément.

A ma binôme Emilie, petite confidente d'entre deux patients. Merci pour ces fous rires, les petits pontons, les gouttes de sueurs avec nos premières chirurgies, le soutien quand j'avais mille rendez-vous en même temps.

A mes amis de la série G (Alexandre, Matthieu, Mathieu, Claire, Agathe, Noé, Tatiana ...) qui ont rendu ces années d'études beaucoup plus drôles et avec qui j'ai partagé des moments inoubliables (WEI, vacances à l'île de Ré, Gala).

A mes amis de l'hôpital Albert Chenevier (Maureen, Kamel, Sophie, Parissa, Isaac, Shana, Victoria ...) **et mes professeurs** (Dr Sellem, Dr Athouel, Dr Roux, Dr Bensaïd) qui m'ont beaucoup appris durant mon parcours dans une ambiance joyeuse et festive.

Un remerciement également aux **deux chefs de services successifs** (Dr Landru et Dr Pirnay) qui nous ont offert un cadre où se former.

Table des matières

INTRODUCTION	2
1 LE PROCESSUS D'OSTEOINTEGRATION ET LE COUPLE D'INSERTION	4
1.1 LA STABILITE IMPLANTAIRE.....	6
1.1.1. <i>Stabilité primaire : la base de l'ostéointégration</i>	6
1.1.2. <i>Stabilité secondaire</i>	7
1.2. LES FACTEURS QUI INFLUENT LE COUPLE D'INSERTION ET LA STABILITE PRIMAIRE.....	9
1.2.1. <i>La qualité osseuse</i>	10
1.2.2. <i>Le protocole chirurgical</i>	12
1.2.3. <i>La morphologie et l'état de surface implantaire</i>	14
1.3. <i>PHYSIOLOGIE OSSEUSE EN REPOSE A UNE CONTRAINTE MECANIQUE</i>	15
1.4. <i>ÉVALUATION DES EFFETS DU COUPLE D'INSERTION SUR LA STABILITE PRIMAIRE ET L'OSTEOINTEGRATION</i>	17
1.4.1. <i>Évaluation des effets du couple d'insertion sur la stabilité primaire</i>	19
1.4.2. <i>Évaluation des effets du couple d'insertion sur l'ostéointégration</i>	20
1.4.3. <i>Corrélation entre couple d'insertion, RFA et stabilité primaire</i>	22
2. REVUE DE LITTERATURE	23
2.1. <i>EFFETS DES COUPLES D'INSERTION ELEVES (ETUDES ANIMALES)</i>	23
2.1.1. <i>Études animales démontrant qu'un couple d'insertion élevé pourrait causer une résorption osseuse ou n'apporte pas un réel intérêt</i>	23
2.1.2. <i>Études animales démontrant qu'un couple d'insertion élevé n'entraîne pas d'effet négatif sur le tissu osseux péri-implantaire</i>	29
2.2. <i>EFFETS DES COUPLES D'INSERTION ELEVES (ETUDES CLINIQUES)</i>	41
2.2.1. <i>Études cliniques démontrant qu'un couple d'insertion élevé pourrait causer une résorption osseuse ou n'apporte pas un réel intérêt</i>	41
2.2.2. <i>Études cliniques démontrant qu'un couple d'insertion élevé n'entraîne pas d'effet négatif sur le tissu osseux péri-implantaire</i>	48
3. DISCUSSION	59
CONCLUSION	63
BIBLIOGRAPHIE	64
TABLE DES FIGURES	70
TABLE DES TABLEAUX	71

Introduction

L'implantologie dentaire est une option thérapeutique fiable dans le traitement de l'édentement, qu'il soit unitaire ou multiple.^{1 2 3}

L'un des éléments clefs du succès en implantologie est l'ostéointégration. Elle est définie comme la connexion structurelle et fonctionnelle directe entre l'os vivant et la surface d'un implant mis en charge.⁴ Elle est multifactorielle et dépend entre autres de la stabilité primaire de l'implant⁵.

Une stabilité primaire insuffisante est associée à des micromouvements de l'implant qui peuvent, s'ils sont supérieurs à 150 microns, inhiber la croissance osseuse et mener au développement d'une interface fibreuse.⁶

Une des façons d'évaluer la stabilité primaire consiste à mesurer le couple d'insertion de l'implant qui quantifie la force nécessaire pour visser l'implant. Il reflète le contact tridimensionnel intime entre les parois osseuses préparées et la surface implantaire.^{7 8}

Il est possible d'optimiser la stabilité primaire en jouant sur la technique chirurgicale ou en modifiant la géométrie de l'implant.^{9 10} La qualité osseuse joue aussi un rôle important mais nous n'avons pas le contrôle de ce facteur. Dans notre quête d'une stabilité primaire optimale, on peut être amené à sous dimensionner le site implantaire et, sans l'avoir totalement anticipé, à utiliser des couples d'insertion importants. Des études suggèrent cependant que des valeurs de couples d'insertion élevées

¹ Lindh et al., « A meta-analysis of implants in partial edentulism ».

² Muddugangadhar et al., « Meta-analysis of failure and survival rate of implant-supported single crowns, fixed partial denture, and implant tooth-supported prostheses ».

³ Wagenberg et Froum, « A retrospective study of 1925 consecutively placed immediate implants from 1988 to 2004 ».

⁴ Brånemark, « Osseointegration and its experimental background ».

⁵ Javed et Romanos, « The role of primary stability for successful immediate loading of dental implants. A literature review ».

⁶ Szmukler-Moncler et al., « Timing of loading and effect of micromotion on bone-dental implant interface : review of experimental literature ».

⁷ Rabel, Köhler, et Schmidt-Westhausen, « Clinical study on the primary stability of two dental implant systems with resonance frequency analysis ».

⁸ Trisi et al., « Implant micromotion is related to peak insertion torque and bone density ».

⁹ Nkenke et al., « Histomorphometric and fluorescence microscopic analysis of bone remodelling after installation of implants using an osteotome technique ».

¹⁰ Cooper, « Factors influencing primary dental implant stability remain unclear ».

provoquent un environnement de contrainte mécanique altéré et des effets délétères compromettant l'ostéointégration.^{11 12 13}

Le but de cette thèse est de répondre à la question suivante : « L'utilisation de couples d'insertion élevés afin d'améliorer la stabilité primaire de l'implant risque-t-elle de compromettre la cicatrisation osseuse et le succès implantaire ? »

Afin d'y parvenir, nous rappellerons dans une première partie les étapes du processus d'ostéointégration et les facteurs pouvant modifier le couple d'insertion d'un implant. Nous présenterons les moyens d'évaluer les effets du couple sur la stabilité primaire et l'ostéointégration de l'implant.

Dans une seconde partie, nous sélectionnerons les études animales et cliniques les plus pertinentes et présenterons une revue de la littérature scientifique.

Enfin, dans une dernière partie, nous confronterons les résultats et arguments afin d'aboutir à une conclusion.

¹¹ Coelho et al., « Biomechanical evaluation of undersized drilling on implant biomechanical stability at early implantation times ».

¹² Rea et al., « Influence of immediate loading on healing of implants installed with different insertion torques--an experimental study in dogs ».

¹³ Cha et al., « Multiscale analyses of the bone-implant interface ».

1 Le processus d'ostéointégration et le couple d'insertion

Le succès implantaire repose en grande partie sur la capacité de l'implant à s'ostéointégrer.

Avant les travaux de Brånemark en 1983, dans une logique de biomimétisme, les auteurs recherchaient l'obtention d'une interface fibreuse entre l'os et l'implant. Ce « ligament péri-implantaire » était censé apporter un amortissement des contraintes semblable au ligament alvéolo-dentaire de la dent.^{14 15} Si certains cas ayant servis d'exemples ont donné de bons résultats, de nombreux autres ont été des échecs.

Brånemark et ses collaborateurs figurent parmi les premiers à défendre l'idée que la pérennité d'un implant dentaire passe par l'obtention d'un contact direct entre l'os et l'implant. Ils proposent le terme d'ostéo-intégration du grec « osteon » (os) et du latin « integrare » (intégrer) et le définissent par « la jonction anatomique et fonctionnelle directe entre l'os vivant remanié et la surface de l'implant mis en charge ».¹⁶

Cette définition sera améliorée en 1991 par Zarb et Albrektsson et présentée comme le « processus par lequel est obtenue une connexion rigide et cliniquement asymptotique entre un matériau inerte et l'os, maintenue sous une charge fonctionnelle ».

Au niveau radiographique, l'ostéointégration se traduit par une apposition osseuse directe sur le pourtour de l'implant (Figure 1). Le pourcentage de contact entre l'os et l'implant (« Bone-implant contact ») après cicatrisation détermine la qualité de l'ostéo-intégration.

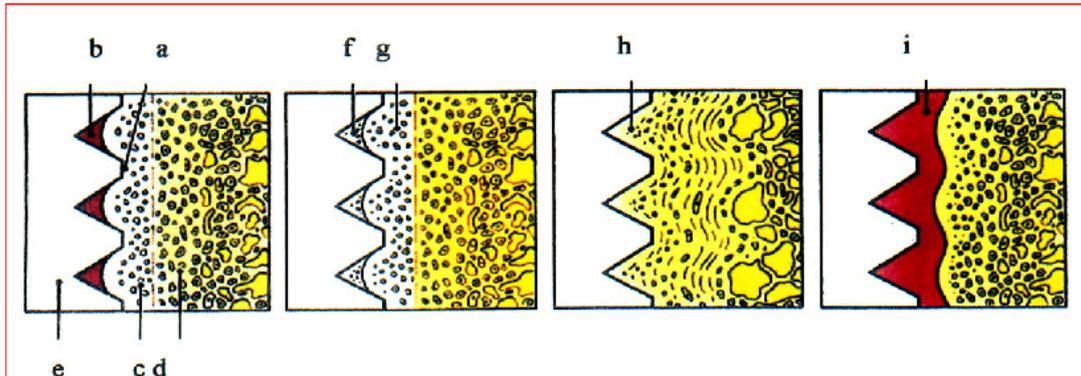
¹⁴ Brånemark, « Osseointegration and its experimental background ».

¹⁵ Davarpanah, Szmukler-Moncler, et Rajzbaum, *Manuel d'implantologie clinique : concepts, intégration des protocoles et esquisses de nouveaux paradigmes*.

¹⁶ Brånemark, « Osseointegration and its experimental background ».

Figure 1 : Schéma histologique du processus d'ostéointégration

a-contact et immobilisation de l'implant via l'extrémité des spires. b- caillot sanguin dans les chambres entre les spires. c- zone osseuse endommagée par un trauma mécanique et thermique. d- os non endommagé à distance. e- implant. f- transformation du caillot en os tissé par la présence d'ostéons ou cal osseux. g- cicatrisation du tissu endommagé via remodelage. h- remodelage osseux et transformation en os lamellaire voir haversien. i- Implant non ostéointégré avec présence du « ligament péri-implantaire » ;

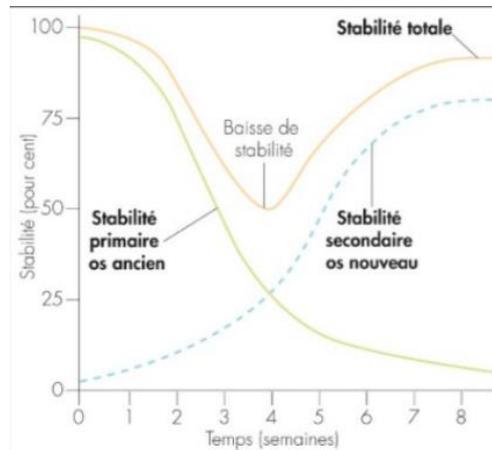


Source : Brånemark et Chien, *The osseointegration book*, 2005

Le processus d'ostéointégration se traduit par 2 phases (figure 2) :

- Une phase de stabilité primaire caractérisée par la stabilisation mécanique de l'implant.
- Une phase de stabilité secondaire caractérisée par une réaction biologique entre la surface externe de l'implant et la surface osseuse.

Figure 2 : Schéma de la diminution progressive de l'ancrage primaire au cours des 6 premières semaines et de l'augmentation progressive de la stabilité biologique obtenue par cicatrisation et remodelage osseux



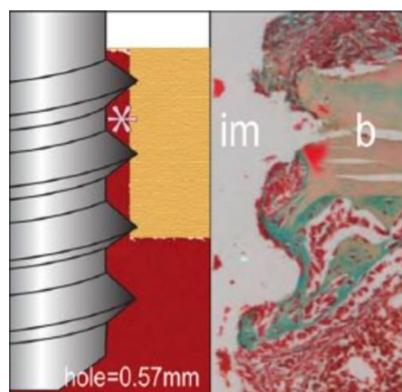
Source : Davarpanah et Demurashvili, *Manuel d'implantologie clinique*, 2015

1.1 La stabilité implantaire

1.1.1. Stabilité primaire : la base de l'ostéointégration

Aussitôt qu'un implant est vissé dans la mâchoire, l'engagement des spires dans l'os péri-implantaire provoque une résistance à la rotation et une compression de l'os. Il en résulte une augmentation du couple d'insertion.

Figure 3 : Schéma d'un implant inséré chez une souris dans un site chirurgicalement préparé (à gauche) avec une coupe histologique (à droite). Seules les extrémités des spires de l'implant se retrouvent dans l'os



Source : Cha et al., « Multiscale analyses of the bone-Implant interface », 2015

L'ancrage obtenu, appelé stabilité primaire, constitue un paramètre fondamental qui participe au succès de l'ostéo-intégration. Cette stabilité primaire prévient les micromouvements de l'implant qui correspondent au déplacement de l'implant par rapport à l'os environnant.

Plusieurs études expliquent que ces micromouvements ne doivent pas dépasser 50 à 150 microns pendant les jours qui suivent la mise en place de l'implant sous peine d'inhiber la croissance osseuse et mener à la fibro-intégration de l'implant, synonyme d'échec implantaire.^{17 18 19}

Ce même mécanisme est retrouvé lorsqu'il y a une fracture osseuse.²⁰ On réalise la réduction de la fracture en stabilisant les deux parties osseuses afin d'éviter d'éventuels mouvements entre elles.

Les micromouvements constituent un risque de destruction des vaisseaux sanguins et des cellules qui se forment à l'interface os-implant. En cas de destruction, les ostéoclastes peuvent alors entraîner une résorption osseuse visant à augmenter l'espace et diminuer le stress induit par les micromouvements.

Ivanoff et al.²¹ ont analysé chez le lapin la qualité de l'ostéo-intégration implantaire en fonction de la stabilité primaire. Ils concluent que la mobilité initiale en rotation, dans un os dense ou spongieux, n'entraîne pas de différence importante sur la qualité de l'ostéo-intégration. En revanche, une mobilité implantaire latérale significative diminue les chances d'obtenir une cicatrisation osseuse optimale.

L'ancrage adéquat de l'implant dans l'os est donc la condition sine qua non pour aboutir à son ostéointégration.^{22 23}

1.1.2. Stabilité secondaire

La stabilité secondaire se définit comme « la séquence de réactions biologiques conduisant à l'angiogenèse, la différenciation des cellules mésenchymateuses, le dépôt de matrice ostéoïde

¹⁷ Szmukler-Moncler et al., « Timing of loading and effect of micromotion on bone-dental implant interface : review of experimental literature ».

¹⁸ Brunski et al., « The influence of functional use of endosseous dental implants on the tissue-implant interface. II. clinical aspects ».

¹⁹ Søballe et al., « Hydroxyapatite coating modifies implant membrane formation. Controlled micromotion studied in dogs ».

²⁰ Perren, « Evolution of the internal fixation of long bone fractures. the scientific basis of biological internal fixation : choosing a new balance between stability and biology ».

²¹ Ivanoff, Sennerby, et Lekholm, « Influence of initial implant mobility on the integration of titanium implants. An experimental study in rabbits ».

²² Sivolella et al., « Osteogenesis at implants without primary bone contact. An experimental study in dogs ».

²³ Nedir et al., « Predicting osseointegration by means of implant primary stability ».

extracellulaire, la minéralisation de cette matrice et sa maturation à travers un processus de remodelage ». ²⁴

La réaction osseuse à la mise en place d'un implant n'est pas spécifique, elle se conforme aux séquences de la réparation osseuse, commune à toute effraction du tissu osseux (fracture, forage ou greffe).

Certaines conditions sont nécessaires afin d'aboutir à la cicatrisation osseuse :

- Une surface stable
- Un réseau vasculaire adapté et la présence de cellules adéquates : ostéoblastes et ostéoclastes à partir de la moelle osseuse ou de cellules mésenchymateuses indifférenciées de la circulation sanguine. La présence d'un os trabéculaire paraît donc indispensable lors de la pose d'un implant, un os saignant ayant de meilleures capacités ostéogéniques favorisant la cicatrisation.
- Un environnement biomécanique adapté : une absence de stimulation mécanique réduit la capacité ostéogénique du site, ²⁵ en revanche des stimulations trop importantes, liées aux micromouvements de l'implant, détournent les cellules mésenchymateuses vers une voie fibroblastique synonyme d'échec implantaire. ²⁶

Réponse osseuse de l'os spongieux :

- **Phase de formation du caillot** : Immédiatement après l'implantation, le caillot sanguin se forme dans les espaces entre l'implant et la surface osseuse. Les protéines sériques adhèrent à l'implant et leur adsorption à sa surface permet le relargage de facteurs de croissance qui attirent les cellules mésenchymateuses indifférenciées.
- **Phase de formation d'un réseau de fibrine** : Pendant les 3 premiers jours un réseau tridimensionnel de fibrine suivi d'une angiogenèse permet aux cellules mésenchymateuses de se fixer et de proliférer. En fonction des conditions locales elles se différencient suivant la lignée ostéoblastique ou fibroblastique.
- **Phase d'opposition osseuse** : Davies²⁷ évoque deux phénomènes différents permettant l'ankylose de l'implant :

²⁴ Davies, « Understanding peri-implant endosseous healing ».

²⁵ Rubin et al., « Inhibition of osteopenia by low magnitude, high-frequency mechanical stimuli ».

²⁶ Szmukler-Moncler et al., « Timing of loading and effect of micromotion on bone-dental implant interface : review of experimental literature ».

²⁷ Davies, « Understanding peri-implant endosseous healing ».

- *L'ostéogenèse de contact* qui implique la formation d'os de novo directement au contact de l'implant. Les cellules ostéogéniques sécrètent une matrice protéique qui se minéralise immédiatement. On aboutit à une apposition osseuse centrifuge (de la surface de l'implant vers la surface osseuse) et centripète (de la surface osseuse en direction de la surface implantaire) afin d'immobiliser l'implant dans l'os. Dans ce cas, typique des implants à surface rugueuse ou bioactive, l'apposition se poursuit en formant un os trabéculaire, avec des trabécules connectées à l'os environnant.
- *L'ostéogenèse à distance* qui correspond à la formation d'un nouvel os uniquement sur les surfaces de l'os péri-implantaire préexistant. Elle a lieu lorsque l'ancrage des cellules ostéogéniques sur l'implant est trop faible. La production d'os ne se fera que de manière centripète. Dans ce cas l'apposition se poursuit en formant une coque d'os cortical d'une certaine épaisseur.
- **Phase d'ostéo-intégration** : l'os tissé de novo, caractérisé par des fibres de collagène minéralisées complètement désorganisées, va se transformer en os lamellaire via des phases de maturation et de remodelage. Au fur et à mesure de ces étapes, les propriétés mécaniques de l'os augmentent.

Réponse de l'os cortical : la réponse osseuse de l'os cortical sera beaucoup plus lente. Dans le cas d'un contact étroit entre l'implant et l'os, induisant de nombreuses contraintes, le temps de cicatrisation sera plus long²⁸ car il faudra passer par une phase de résorption locale avant de permettre l'apposition osseuse via les cellules ostéoblastiques. Au contraire pour l'os spongieux, cette apposition s'effectue dès le départ.

1.2. Les facteurs qui influencent le couple d'insertion et la stabilité primaire

Plusieurs facteurs, modifiables ou non, permettent d'augmenter le couple d'insertion de l'implant afin d'obtenir une stabilité primaire favorable. Javed et coll.²⁹ les divise en 3 groupes :

- La densité et la quantité d'os disponible au niveau du site implantaire.
- La technique employée et notamment le rapport entre la taille du foret et celle de l'implant.
- La morphologie macroscopique et microscopique de l'implant utilisé.

²⁸ Franchi et al., « Biological fixation of endosseous implants ».

²⁹ Javed et Romanos, « The role of primary stability for successful immediate loading of dental implants. A literature review ».

1.2.1. La qualité osseuse

C'est un facteur important dans l'obtention d'une bonne stabilité primaire. En effet Il existe un consensus général sur l'importance de la qualité de l'os alvéolaire pour le succès des implants dentaires : les implants placés dans un os de mauvaise qualité présentent des taux d'échec plus élevés.^{30 31 32}

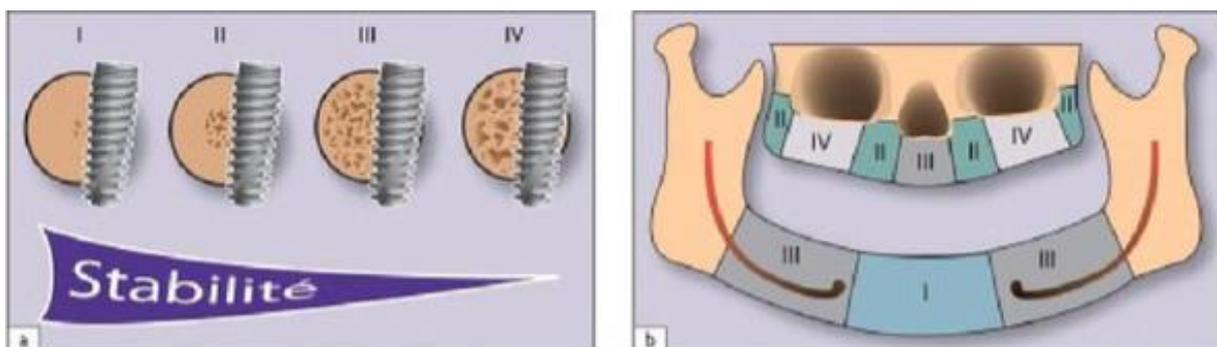
La structure composite de l'os alvéolaire, formée d'une couche corticale et d'une zone trabéculaire sous-jacente, varie en fonction de sa localisation sur les maxillaires. Chaque variation induit un changement de densité, ce qui donne lieu à une classification de l'os alvéolaire (figure 4).

Le système de classification le plus fréquemment utilisé a été introduit par Lekholm et Zarb en 1988, distinguant, de manière histologique, quatre classes d'os en fonction de l'épaisseur de l'os cortical et de la densité de l'os trabéculaire :

- Type 1 : il est constitué très majoritairement d'os spongieux.
- Type 2 : il est constitué d'un os cortical large entourant un os spongieux dense
- Type 3 : il est constitué d'un os cortical fin entourant un os spongieux dense
- Type 4 : il est constitué d'un os cortical fin entourant un os spongieux poreux

A cette classification s'ajoute un os dit « de type5 » qui est le tissu osseux de greffe.

Figure 4 : a. Schématisation des quatre types osseux en fonction de la stabilité primaire de l'implant
b. densité de l'os en fonction de sa localisation sur les maxillaires.



Source : Davarpanah et Demurashvili, *Manuel d'implantologie clinique*, 2015

³⁰ Chrcanovic, Albrektsson, et Wennerberg, « Bone quality and quantity and dental implant failure : a systematic review and meta-analysis ».

³¹ Makary et al., « Peak insertion torque correlated to histologically and clinically evaluated bone density ».

³² Jaffin et Berman, « The Excessive Loss of Branemark Fixtures in Type IV Bone ».

Norton et Gamble ont proposé une classification alternative, évaluée par tomодensitométrie (CT scan). Ils ont démontré qu'une échelle objective de densité osseuse basée sur les unités de Hounsfield avait une forte corrélation avec la densité osseuse réelle. L'unité de Hounsfield étant l'unité définissant, en tomодensitométrie, « l'absorption du faisceau de rayons X par les divers tissus qu'il traverse ».³³ Quatre régions ont été identifiées en fonction de la densité osseuse, la mandibule antérieure ayant la plus haute densité osseuse et le maxillaire postérieur la plus basse.³⁴

En ce qui concerne la densité osseuse, les chercheurs ont observé une relation entre le couple d'insertion et la qualité de l'os et ont conclu qu'une plus grande stabilité primaire pouvait être obtenue dans un os plus dense³⁵ avec un couple d'insertion accru.^{36 37 38 39} On observe ainsi que les implants insérés dans la mandibule antérieure présentent des taux de survie supérieurs à ceux des implants placés dans le maxillaire postérieur (figure 3b).^{40 41}

Malgré l'importance du facteur « qualité de l'os » (quantité et densité), aucune technique de diagnostic objective n'a été décrite jusqu'à présent pour déterminer la qualité de l'os sur un site d'implantation spécifique. Les techniques applicables à l'évaluation clinique de la qualité de l'os et de la stabilité des implants comprennent :

- L'évaluation des radiographies 2D et 3D en raison d'une corrélation positive entre la densité osseuse (évaluée sur une tomодensitométrie) et les valeurs de couple.
- La sensation du chirurgien lors de la préparation du site implantaire
- La mesure du couple d'insertion de l'implant.⁴²

Dans le cas où une stabilité primaire adéquate ne peut être obtenue, en lien avec une densité osseuse trop faible, il faut pouvoir jouer sur d'autres facteurs modifiables afin d'augmenter le couple d'insertion et obtenir une stabilité acceptable.

Parmi les nouveaux concepts mis au point au cours des dernières décennies, le praticien peut choisir d'adapter la technique chirurgicale et/ou de choisir une morphologie optimale de l'implant, favorable à une meilleure stabilité primaire.

³³ Académie nationale de médecine, « Hounsfield (unité) ».

³⁴ Norton et Gamble, « Bone classification : an objective scale of bone density using the computerized tomography scan ».

³⁵ Alsaadi et al., « A biomechanical assessment of the relation between the oral implant stability at insertion and subjective bone quality assessment ».

³⁶ Friberg et al., « Brånemark implants and osteoporosis : a clinical exploratory study ».

³⁷ Turkyilmaz, Aksoy, et McGlumphy, « Two alternative surgical techniques for enhancing primary implant stability in the posterior maxilla : a clinical study including bone density, insertion torque, and resonance frequency analysis data ».

³⁸ Makary et al., « Peak insertion torque correlated to histologically and clinically evaluated bone density ».

³⁹ Turkyilmaz et al., « Biomechanical aspects of primary implant stability : a human cadaver study ».

⁴⁰ Adell et al., « A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw ».

⁴¹ Lazzara et al., « Retrospective multicenter analysis of 3i endosseous dental implants placed over a five-year period ».

⁴² Trisi et al., « Implant micromotion is related to peak insertion torque and bone density ».

1.2.2. Le protocole chirurgical

La préparation du site implantaire affecte le couple d'insertion et par conséquent la stabilité primaire des implants. Les différents fabricants d'implants recommandent d'adapter le protocole chirurgical afin d'optimiser la stabilité primaire de l'implant en fonction de la qualité de l'os présent.

- Dans un os à prédominance corticale, le forage lent et le taraudage sont recommandés pour éviter toute nécrose due à l'augmentation de la température ou aux contraintes excessives.
- Dans un os de faible densité, à tendance trabéculaire, diverses techniques sont recommandées comme l'utilisation d'un diamètre de forage final assez nettement inférieur à celui de l'implant.^{43 44} D'autres proposent la technique de condensation osseuse avec ostéotome pour modifier la densité osseuse et par conséquent la stabilité de l'implant.^{45 46}

1.2.2.1. Sous forage du site implantaire

Ce concept est basé sur une ostéotomie d'un diamètre inférieur à la taille de l'implant. Il crée une situation de compression où les parois osseuses sont en contact intime avec l'implant, ce qui améliore potentiellement la stabilité primaire.^{47 48 49}

Dans une récente revue systématique de la littérature, à partir de résultats biomécaniques, biologiques et cliniques de préparations chirurgicales sous-dimensionnées, Stocchero et al. concluent qu'un protocole de forage sous-dimensionné est efficace pour augmenter la stabilité primaire et le couple d'insertion dans les os de faible densité.⁵⁰

En ce qui concerne la réponse biologique, Tabassum et al.⁵¹ comparent les couples d'insertion et de retrait suite à une technique de sous-forage implantaire à ceux obtenus avec une technique classique de forage adaptée au diamètre de l'implant. Cent soixante implants sont insérés dans des blocs de

⁴³ Friberg et al., « Brånemark implants and osteoporosis : a clinical exploratory study ».

⁴⁴ Pantani et al., « Influence of lateral pressure to the implant bed on osseointegration : an experimental study in dogs ».

⁴⁵ Nkenke et al., « Histomorphometric and fluorescence microscopic analysis of bone remodelling after installation of implants using an osteotome technique ».

⁴⁶ Summers, « A new concept in maxillary implant surgery : the osteotome technique ».

⁴⁷ Turkyilmaz, Aksoy, et McGlumphy, « Two alternative surgical techniques for enhancing primary implant stability in the posterior maxilla : a clinical study including bone density, insertion torque, and resonance frequency analysis data ».

⁴⁸ Pantani et al., « Influence of lateral pressure to the implant bed on osseointegration : an experimental study in dogs ».

⁴⁹ Alghamdi, Anand, et Anil, « Undersized implant site preparation to enhance primary implant stability in poor bone density : a prospective clinical study ».

⁵⁰ Stocchero et al., « Biomechanical, biologic, and clinical outcomes of undersized implant surgical preparation ».

⁵¹ Tabassum et al., « Influence of the surgical technique and surface roughness on the primary stability of an implant in artificial bone with a density equivalent to maxillary bone: a laboratory study ».

polyuréthane, considérés mathématiquement comme proches de la structure mécanique des os maxillaires (avec des différences de densité pour modéliser la structure composite de l'os alvéolaire). Ils concluent que le sous-forage d'un site implantaire de faible densité augmente de manière significative le couple d'insertion et la stabilité primaire de l'implant.

1.2.2.2. Ostéocondensation du site implantaire

Cette technique implique essentiellement une compression latérale de l'os trabéculaire afin d'améliorer la qualité de l'os du site implantaire à l'aide d'instruments manuels spécialement conçus. En raison de l'augmentation probable du contact primaire entre l'os et l'implant, on peut s'attendre à une amélioration de la stabilité intra-osseuse des implants posés après condensation latérale du site osseux receveur.

Les études expérimentales sur les aspects biomécaniques de la technique de condensation par ostéotome sont rares et leurs résultats discutables.

Dans leur revue systématique, Shi Jy et al.⁵² retrouvent des taux de survie implantaire à 1 an supérieurs à 95% pour des implants posés avec la technique d'ostéocondensation.

Fanuscu et al.⁵³ dans une étude expérimentale sur six os iliaques humains, comparent la technique d'ostéocondensation à la technique de forage classique. Ils concluent que la technique par ostéocondensation augmente de manière significative la densité osseuse en modifiant la micro-morphologie de l'os trabéculaire sans pour autant augmenter significativement la stabilité primaire de l'implant.

Dans une autre étude, Büchter et al.⁵⁴ ont observé un contact os-implant plus faible ainsi qu'un nombre plus élevé d'échecs pour les implants placés avec la technique d'ostéocondensation dans le maxillaire postérieur de mini-porcs. Des tests biomécaniques ont également révélé des valeurs de stabilité significativement plus élevées pour les implants placés avec la technique de forage classique par rapport à ceux placés avec la technique par ostéocondensation au moment de la pose de l'implant et 28 jours après.

⁵² Shi et al., « Survival of implants using the osteotome technique with or without grafting in the posterior maxilla : a systematic review ».

⁵³ Fanuscu, Chang, et Akça, « Effect of surgical techniques on primary implant stability and peri-implant bone ».

⁵⁴ Büchter et al., « Biological and biomechanical evaluation of bone remodelling and implant stability after using an osteotome technique ».

A la lumière des études récentes, la technique d'ostéocondensation ne semble pas être considérée comme la technique la plus adaptée pour augmenter la stabilité primaire de l'implant car les modifications de la microstructure osseuse péri-implantaire la rendent discutable. Par conséquent, l'approche chirurgicale sous-dimensionnant la préparation du lit implantaire dans les sites osseux médiocres montre de meilleurs résultats.^{55 56}

1.2.3. La morphologie et l'état de surface implantaire

Le développement de l'interface implant-os est complexe et implique de nombreux facteurs, notamment ceux liés aux implants (matériau, forme, topographie et chimie de surface). Le couple d'insertion dépendra de la géométrie de l'implant, de la forme des spires et de la morphologie de la surface de l'implant.⁵⁷

1.2.3.1. Morphologie implantaire et macrostructure

Historiquement les premiers implants se présentaient sous la forme de lames, disques, cylindres pleins ou creux. Certaines formes ont aujourd'hui complètement disparu et la majorité des implants disponibles dans le commerce sont cylindriques ou cylindro-coniques.

La présence d'un pas de vis améliore la répartition des contraintes dans le tissu osseux. Elles permettent également de laisser un espace entre l'os et l'implant qui sera colonisé par un caillot sanguin puis plus tard du tissu osseux de novo.

Ces implants cylindriques ne sont pas idéaux dans un os de faible densité ou une alvéole post-extractionnelle. C'est ce qui a conduit à la mise au point d'implants coniques capables de mieux occuper l'alvéole et d'exercer des forces latérales pour augmenter la stabilité primaire.

1.2.3.2. Surface implantaire

Les propriétés de surface implantaire ont été améliorées pour perfectionner l'ancrage mécanique et la réponse biologique. Au cours du processus d'ostéointégration, l'os se lie étroitement à un matériau

⁵⁵ Shalabi et al., « Histological evaluation of oral implants inserted with different surgical techniques into the trabecular bone of goats ».

⁵⁶ Tabassum et al., « Bone particles and the undersized surgical technique ».

⁵⁷ Dos Santos, Elias, et Cavalcanti Lima, « The effects of superficial roughness and design on the primary stability of dental implants ».

inerte et biocompatible. Les macro et microstructure de ce matériau jouent un rôle décisif dans ce processus.

Freitas et al.⁵⁸ réalisent une étude comparant 36 implants avec 3 modèles de spires différents, insérés dans des blocs de polyuréthane. Ils concluent que le design des spires influence le couple d'insertion et les micromouvements implantaires. Plus les spires sont tranchantes et profondes moins le couple d'insertion est élevé et plus les micromouvements diminuent. Ces conclusions sont d'ailleurs retrouvées dans l'étude de Jimbo et coll.⁵⁹ sur des mandibules de moutons. Le design implantaire influence donc le couple d'insertion de l'implant et sa stabilité primaire.

En ce qui concerne l'état de surface de l'implant le plus approprié à ce jour, il n'y a pas de consensus, sauf pour dire que les surfaces lisses ont généralement cédé la place aux surfaces rugueuses. Il a été démontré dans une revue de littérature⁶⁰ qu'une surface rugueuse, en augmentant la surface de l'implant en contact avec l'os, améliore les taux de succès implantaires.

1.3. Physiologie osseuse en réponse à une contrainte mécanique

L'os a une capacité unique à adapter sa masse et sa structure en fonction des charges auxquelles il est exposé. Il a été suggéré que les contraintes osseuses induites par l'insertion d'un implant, lorsqu'on augmente le couple d'insertion, diminuent progressivement au cours du temps via 2 phénomènes osseux :

- Une diminution du stress par un comportement viscoélastique de l'os. En effet par ses propriétés élastiques il peut tolérer un certain niveau de contrainte.^{61 62}
- Un remodelage de l'os sous tension, remplacé par de nouveaux systèmes haversiens sans contrainte.

Winwood et al.⁶³ expliquent que des contraintes, sans dépasser un certain seuil, favorisent l'activité ostéoblastique et ostéoclastique nécessaires à l'ostéointégration de l'implant. En revanche lorsque la contrainte osseuse dépasse certaines valeurs, des dommages sous la forme de microfissures et de

⁵⁸ Freitas et al., « The effect of implant design on insertion torque and immediate micromotion ».

⁵⁹ Jimbo et al., « The impact of a modified cutting flute implant design on osseointegration ».

⁶⁰ Javed et al., « Implant surface morphology and primary stability : is there a connection ? »

⁶¹ Jimbo et al., « The impact of a modified cutting flute implant design on osseointegration ».

⁶² Cha et al., « Multiscale analyses of the bone-implant interface ».

⁶³ Winwood et al., « The importance of the elastic and plastic components of strain in tensile and compressive fatigue of human cortical bone in relation to orthopaedic biomechanics ».

déformations plastiques se produisent, pouvant entraîner l'échec implantaire. Un phénomène de mécano transduction via les fluides intra osseux peut alors induire l'autolyse des ostéocytes et recruter des ostéoclastes.⁶⁴

Sotto et al.⁶⁵, selon la méthode des éléments finis, analysent les contraintes générées par un couple d'insertion élevé sur un os modélisé mathématiquement. Ils concluent qu'augmenter les couples d'insertion de 30 à 80 Ncm augmente la compression et le stress des tissus péri-implantaires surtout au niveau de l'os cortical qui, en raison de sa densité, dissipe plus difficilement les contraintes.

Ces contraintes élevées, générées par des couples d'insertion supérieurs à 50 Ncm pourrait entraîner une insuffisance de l'apport sanguin et une nécrose osseuse au cours de la phase d'ostéointégration, généralement dans les premiers mois suivant la pose.

Bien que l'insertion d'un implant implique des contraintes sur l'os environnant, le processus d'ostéointégration nécessite un niveau de stress optimal pour maintenir la réparation osseuse normale en activant la différenciation cellulaire.

Des contraintes de 1 500 à 3 000 microdéformations conduiraient à un renforcement de l'os qui augmente sa densité et sa formation. Au-delà de cette plage, elles peuvent induire une fracture osseuse avec résorption.⁶⁶ Des inquiétudes ont donc été soulevées quant au fait qu'un couple d'insertion trop élevé pourrait provoquer une nécrose et donc des dommages irréversibles au tissu osseux péri-implantaire.^{67 68 69 70}

Ce phénomène de nécrose par compression osseuse, semble être largement accepté par la communauté scientifique, bien qu'aucune étude prouvant cette hypothèse n'ait été publiée.

Au contraire, l'expérience orthopédique a montré que la réparation de sites fracturés par des vis de compression vissées à 150 Ncm n'entraînait pas de résorption osseuse lorsque les extrémités de la

⁶⁴ Sotto-Maior et al., « Influence of high insertion torque on implant placement : an anisotropic bone stress analysis ».

⁶⁵ Sotto-Maior et al.

⁶⁶ Isidor, « Influence of forces on peri-implant bone ».

⁶⁷ Degidi et al., « Is insertion torque correlated to bone-implant contact percentage in the early healing period ? A histological and histomorphometrical evaluation of 17 human-retrieved dental implants ».

⁶⁸ Jimbo et al., « The impact of a modified cutting flute implant design on osseointegration ».

⁶⁹ Cha et al., « Multiscale analyses of the bone-implant interface ».

⁷⁰ Bashutski, D'Silva, et Wang, « Implant compression necrosis : current understanding and case report ».

fracture étaient parfaitement stables.⁷¹ Les contraintes et déformations sont le moteur du remodelage osseux à condition qu'elles soient transitoires et ne dépassent pas un certain seuil.^{72 73}

Lorsque ce seuil est dépassé, l'os peut se fissurer voire même se fracturer mais cela n'est pas forcément synonyme d'échec et de destruction osseuse. L'os nécrotique peut servir de support structurel pendant le remodelage osseux et les microfissures favoriseraient ce remodelage.^{74 75}

Jimbo et al.⁷⁶ dans une étude évaluant l'influence du design implantaire sur l'ostéointégration, observent que les particules de débris osseux agissent comme un noyau de formation osseuse.

Pourtant Büchter et al.⁷⁷, dans une étude animale, ont démontré expérimentalement que les microfractures dans l'os péri-implantaire entraînaient une récupération osseuse retardée.

1.4. Évaluation des effets du couple d'insertion sur la stabilité primaire et l'ostéointégration

Même si le sujet reste très controversé, le couple d'insertion est considéré comme une mesure de substitution objective de la stabilité primaire au moment de la mise en place de l'implant. Le « verrouillage » de l'implant, c'est à dire l'absence de micromouvement indiquerait qu'une stabilité primaire adéquate a été atteinte.

Dans un tableau issu de la revue de littérature de Greenstein et al.⁷⁸ (tableau 1), les auteurs répertorient les différents couples d'insertion utilisés. Aucun couple d'insertion précis à utiliser systématiquement pour insérer un implant n'a jamais été défini. Néanmoins, la littérature indique que les cliniciens utilisent avec succès des couples d'insertion supérieurs à 30 Ncm.^{79 80} Benic et al.⁸¹ poursuivent cette

⁷¹ Okuyama et al., « Can insertional torque predict screw loosening and related failures ? An in vivo study of pedicle screw fixation augmenting posterior lumbar interbody fusion ».

⁷² Rubin et al., « Inhibition of osteopenia by low magnitude, high-frequency mechanical stimuli ».

⁷³ Halldin et al., « The effect of static bone strain on implant stability and bone remodeling ».

⁷⁴ Dhore et al., « In vitro osteogenic potential of bone debris resulting from placement of titanium screw-type implants ».

⁷⁵ Halldin et al., « The effect of static bone strain on implant stability and bone remodeling ».

⁷⁶ Jimbo et al., « The impact of a modified cutting flute implant design on osseointegration ».

⁷⁷ Büchter et al., « Biological and biomechanical evaluation of bone remodelling and implant stability after using an osteotome technique ».

⁷⁸ Greenstein et Cavallaro, « Implant insertion torque : its role in achieving primary stability of restorable dental implants ».

⁷⁹ Grandi et al., « Immediate loading of single post-extractive implants in the anterior maxilla: 12-month results from a multicenter clinical study ».

⁸⁰ Turkyilmaz, Aksoy, et McGlumphy, « Two alternative surgical techniques for enhancing primary implant stability in the posterior maxilla : a clinical study including bone density, insertion torque, and resonance frequency analysis data ».

⁸¹ Benic, Mir-Mari, et Hämmerle, « Loading protocols for single-implant crowns : a systematic review and meta-analysis ».

idée en expliquant que le couple d'insertion habituel utilisé par les cliniciens variait entre 20 Ncm et 45 Ncm en fonction des individus et des sites chez un même patient.⁸²

Tableau 1 : Différents couples d'insertion utilisés par les études

TABLE 1	
Insertion Torque Forces Successfully Used in Healed Ridges	
Study Author(s)	Initial Insertion Torques
Irinakis & Wiebe ⁴⁷	49.7 Ncm
Grandi et al ⁴⁸	Forces ranged from 30 Ncm - 100 Ncm (mean 65 Ncm)
Rabel et al ⁵	Self-tapping implants at a mean of 25.9 Ncm
Alsaadi et al ⁴⁹	Average close to 30 Ncm
Norton ⁵⁰	47 implants at 25 Ncm, 11 at 20 Ncm, 7 at 15 Ncm, 3 at 10 Ncm
Benic et al ⁴⁶	20 Ncm - 45 Ncm
Turkyilmaz & McGlumphy ²⁷	37 Ncm

Source : Greenstein et Cavallaro, « Implant insertion torque », 2017

Une mauvaise stabilité primaire constitue un risque d'échec implantaire important. De nombreux auteurs recommandent donc d'utiliser un couple d'insertion élevé pour améliorer cette stabilité^{83 84} notamment lors de la mise en charge immédiate d'un implant.^{85 86}

Pour valider l'hypothèse qu'augmenter le couple d'insertion augmente la stabilité primaire, Trisi et al.⁸⁷ ont placé 120 implants dans des échantillons d'os bovin de différentes densités : mous, normaux et durs. Des couples de 20-35-45-70 et 100 Ncm ont été utilisés pour insérer ces implants. Les auteurs ont prouvé que l'augmentation du couple d'insertion réduisait les micromouvements et qu'il y avait plus de micromouvements dans l'os mou que dans l'os dense. Ils précisent néanmoins qu'au-delà de 45 Ncm, il n'y a pas de différence significative dans la quantité de micromouvements pour les os normaux et durs.

⁸² Greenstein et Cavallaro, « Implant insertion torque : its role in achieving primary stability of restorable dental implants ».

⁸³ Trisi et al., « Implant micromotion is related to peak insertion torque and bone density ».

⁸⁴ O'Sullivan, Sennerby, et Meredith, « Measurements comparing the initial stability of five designs of dental implants : a human cadaver study ».

⁸⁵ Irinakis et Wiebe, « Initial torque stability of a new bone condensing dental implant. a cohort study of 140 consecutively placed implants ».

⁸⁶ Ottoni et al., « Correlation between placement torque and survival of single-tooth implants ».

⁸⁷ Trisi et al., « Implant micromotion is related to peak insertion torque and bone density ».

Ces conclusions sont remises en question par l'étude de Freitas et al.⁸⁸ qui observent paradoxalement une diminution des micromouvements corrélée à une diminution du couple d'insertion. Cette relation proportionnelle serait liée au design implantaire.

Compte tenu des éléments cités plus haut, on peut émettre l'hypothèse que, même si la dichotomie entre couple d'insertion élevé et couple d'insertion standard n'est pas claire, pour la majeure partie des designs implantaires un couple d'insertion supérieur à 45 Ncm est considéré comme un couple élevé réduisant les micromouvements et favorisant la stabilité primaire.^{89 90 91}

1.4.1. Évaluation des effets du couple d'insertion sur la stabilité primaire

Cliniquement, au moment de la pose, une appréciation tactile de la mobilité implantaire (mouvements en rotation, latéraux) permet de vérifier la qualité de la stabilité primaire néanmoins, cette évaluation n'est pas quantitative et manque de fiabilité.

Deux instruments sont fréquemment utilisés pour mesurer la stabilité primaire :

- Le Periotest® qui contient une tête de mesure à commande électronique qui frappe le pilier de cicatrisation sur sa partie vestibulaire. La pièce à main est reliée à un micro-ordinateur pour détecter le temps nécessaire à la tête pour revenir à sa position initiale. Il enregistre des résultats allant de -8 à +50 (le moins stable). Malheureusement la sensibilité de ce test est très faible.⁹²
- L'Osstell® fonctionne différemment. Un capteur est positionné sur l'implant et vibré avec des impulsions magnétiques fournies par une pièce à main pour évaluer la fréquence à laquelle l'implant entre en résonance. Un niveau élevé de vibration est en corrélation avec un implant stable (la fréquence de résonance est mesurée entre 3500 Hz et 8500 Hz). Cette technique est appelée analyse de fréquence de résonance (RFA) et les fréquences enregistrées sont converties en un quotient de stabilité de l'implant (ISQ), dont les unités vont de 1 à 100 (la plus stable). Le score de 65 ISQ correspondrait à une stabilité primaire adéquate.⁹³

⁸⁸ Freitas et al., « The effect of implant design on insertion torque and immediate micromotion ».

⁸⁹ Trisi et al., « High versus low implant insertion torque: a histologic, histomorphometric, and biomechanical study in the sheep mandible ».

⁹⁰ Khayat et al., « Clinical outcome of dental implants placed with high insertion torques (up to 176 ncm) ».

⁹¹ Grandi et al., « Immediate loading of single post-extractive implants in the anterior maxilla: 12-month results from a multicenter clinical study ».

⁹² Mistry et al., « Measuring implant stability : a review of different methods ».

⁹³ Mistry et al.

La conférence du consensus de l'Association Européenne d'Ostéointégration de 2006 a conclu que l'utilisation de ces dispositifs n'était pas justifiée, car la gamme de valeurs enregistrée relative au succès ou à l'échec de l'implant n'était pas claire.⁹⁴

1.4.2. Évaluation des effets du couple d'insertion sur l'ostéointégration

L'évaluation histomorphométrique est la méthode la plus précise pour évaluer les caractéristiques morphologiques de l'interface os-implant. Il s'agit toutefois de méthodes destructrices, qui ne peuvent être utilisées en pratique clinique.

Plusieurs éléments sont évalués (figure 5) :

- Le BIC (bone-to-implant contact) correspondant à la somme des longueurs de contact entre l'implant et l'os (nouvellement formée et/ou initial de l'hôte).
- La BA (bone area) ou BV (bone volume) péri-implantaire correspondant à la quantité d'os présente dans une zone de référence spécifique.

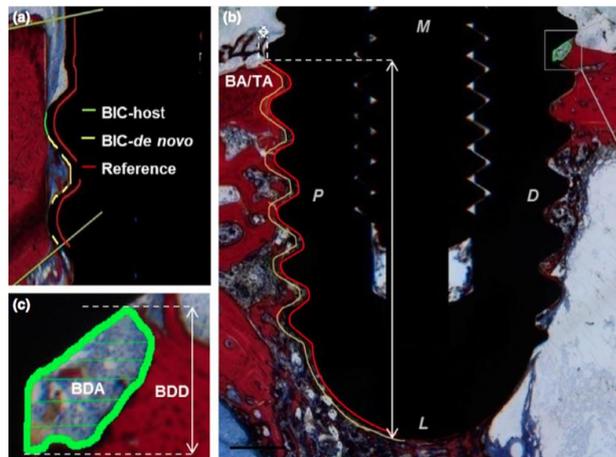
Pour suivre le processus d'ostéointégration cette méthode permet de comparer :

- Les niveaux osseux corticaux à différents stades.
- La quantité d'os par rapport à la quantité de tissus mous péri-implantaires.
- La quantité d'os initiale par rapport à la quantité d'os néoformé au cours de la cicatrisation.

⁹⁴ Hämmerle et van Steenberghe, « The first eao consensus conference 16-19 february 2006, pfäffikon, switzerland ».

Figure 5 : Illustration d'une analyse histomorphométrique sur une coupe histologique

(a) BIC-host correspond au BIC avec l'os de l'hôte déjà présent au moment de l'insertion, BIC-de novo correspond au BIC avec l'os nouvellement formé et la ligne de référence délimite la surface implantaire. (b) BA/TA correspond à la quantité d'os présent à une distance de 100 μm sur tout le pourtour de l'implant. (c) BDD (« bone defect depth ») correspond à la profondeur de perte osseuse depuis le rebord crestal et BDA (« bone defect area ») à la surface de perte osseuse depuis le rebord crestal.



Source : Duyck et al., « Effect of insertion torque on titanium implant osseointegration », 2015

D'un point de vue clinique, on ne peut valider la qualité de l'ostéointégration avec des techniques aussi destructrices.

On peut en revanche évaluer la qualité de l'ostéointégration par quelques tests cliniques :

- Test de percussion : on doit obtenir un son mat, sans douleurs au niveau de l'implant.
- Test de palpation : aucune douleur ni suppuration ne doit apparaître.
- Test de vissage/dévisage : l'implant doit rester ancré dans l'os au cours de cette manœuvre.
- Radiographiquement : absence d'image radio-claire péri-implantaire.

De manière générale, les études cliniques évaluent les effets du couple d'insertion sur l'ostéointégration selon 2 critères :

- Le taux de succès implantaire en fonction de certains critères (douleurs, mobilité, présence d'une suppuration, résorption osseuse au-delà d'un certain seuil ...)
- La quantité de résorption de l'os crestal. Les altérations du niveau osseux péri-implantaire sont considérées comme un indicateur significatif de la santé de l'implant avec la majorité de la perte osseuse ayant lieu au cours de la première année de la pose de l'implant.

1.4.3. Corrélation entre couple d'insertion, RFA et stabilité primaire

Cliniquement seules 2 techniques permettent d'évaluer la stabilité primaire de l'implant : la RFA et le couple d'insertion.

Beaucoup d'études considèrent qu'il n'y a pas de corrélation entre le couple d'insertion de l'implant et la valeur de RFA^{95 96 97} mais ce sujet soulève beaucoup de débats car d'autres études démontrent le contraire.^{98 99 100} Rabel et al. concluent néanmoins qu'à elle seule, la mesure de la RFA n'est pas suffisante pour évaluer la stabilité primaire de l'implant et donc son succès dans le temps.

Dans une étude récente, Norton et al.¹⁰¹ opposent le couple d'insertion, défini comme « une mesure de la résistance de friction par rotation qui dépend de la pression critique que l'implant applique sur l'os environnant » à l'ISQ (RFA), défini comme une « mesure de la rigidité axiale qui dépend de l'ajustement entre l'implant et l'os sur toute sa longueur ».

En considérant un implant placé dans un os à haute densité au niveau d'un site sur-préparé garantissant que l'implant applique peu ou pas de pression sur les tissus environnants, dans ces circonstances le couple d'insertion sera faible, mais en raison de la densité de l'os et de la forte congruence entre l'implant et le tissu environnant, la stabilité axiale mesurée par la RFA (ISQ) sera toujours élevée.

Ceci expliquerait pourquoi on peut avoir des valeurs d'ISQ moyennes supérieures au seuil minimal pour obtenir un implant stable avec des valeurs de couples moyennes bien inférieures à la norme acceptée.

Malheureusement, à ce jour, aucun consensus n'a été établi sur la corrélation entre RFA et couple d'insertion de l'implant.

⁹⁵ Rabel, Köhler, et Schmidt-Westhausen, « Clinical study on the primary stability of two dental implant systems with resonance frequency analysis ».

⁹⁶ Degidi, Daprile, et Piattelli, « Implants inserted with low insertion torque values for intraoral welded full-arch prosthesis : 1-year follow-up ».

⁹⁷ Norton, « The influence of low insertion torque on primary stability, implant survival, and maintenance of marginal bone levels : a closed-cohort prospective study ».

⁹⁸ Turkyilmaz et al., « Biomechanical aspects of primary implant stability : a human cadaver study ».

⁹⁹ Trisi et al., « Implant micromotion is related to peak insertion torque and bone density ».

¹⁰⁰ Makary et al., « Peak insertion torque correlated to histologically and clinically evaluated bone density ».

¹⁰¹ Norton, « The influence of low insertion torque on primary stability, implant survival, and maintenance of marginal bone levels : a closed-cohort prospective study ».

2. Revue de littérature

La littérature a été consultée via PubMed en utilisant les termes suivants : (((high insertion torque) OR insertion torque) AND dental implant) AND osseointegration). L'objectif était de retrouver tous les articles publiés comparant ou évaluant les effets du couple d'insertion implantaire sur l'ostéointégration, la résorption osseuse marginale ou le taux d'échec implantaire. Les études in vivo chez l'homme et chez l'animal ont été incluses dans la revue. Un total de 212 articles a été obtenu avec seulement 27 articles retenus. Un cas clinique souvent cité a également été retenu.

Les études évaluant l'effet du design implantaire sur le couple d'insertion, les études in vitro ou uniquement réalisées à partir de modèles mathématiques ont été exclues.

2.1. Effets des couples d'insertion élevés (études animales)

2.1.1. Études animales démontrant qu'un couple d'insertion élevé pourrait causer une résorption osseuse ou n'apporte pas un réel intérêt

Il y a peu d'études animales avec un haut niveau de preuve qui démontrent que les couples d'insertion élevés ont une action délétère pour le tissu osseux péri-implantaire.

Augmenter l'action du couple d'insertion est associée à une augmentation des contraintes au niveau des tissus péri-implantaires¹⁰² cependant c'est l'évolution et la réponse de ces tissus qui divise.

L'hypothèse que les couples d'insertion élevés déforment et compriment l'os, réduisant ainsi la microcirculation et conduisant à l'échec de l'ostéointégration des implants par nécrose osseuse a été formulée.¹⁰³ Cependant, très peu d'études parlent de réelle nécrose osseuse. Elles parlent surtout de zone de remodelage et de microfractures qui n'engendrent pas forcément d'échec implantaire.¹⁰⁴

J-Y Cha et al.¹⁰⁵ dans leur étude chez la souris évaluent la réponse de l'os péri-implantaire aux contraintes créées lors de la pose de 32 implants avec des couples d'insertion faibles et élevés. Ils

¹⁰² Cha et al., « Multiscale analyses of the bone-implant interface ».

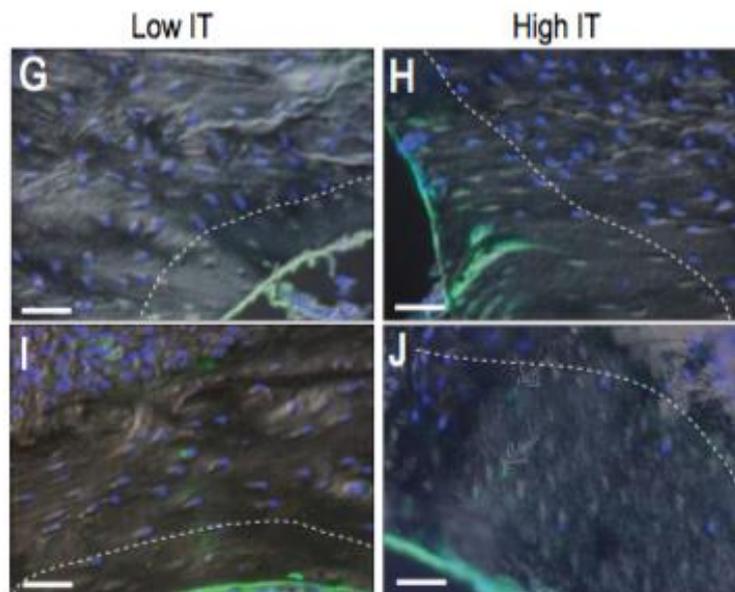
¹⁰³ O'Sullivan, Sennerby, et Meredith, « Measurements comparing the initial stability of five designs of dental implants : a human cadaver study ».

¹⁰⁴ Halldin et al., « The effect of static bone strain on implant stability and bone remodeling ».

¹⁰⁵ Cha et al., « Multiscale analyses of the bone-implant interface ».

observent que la préparation du site implantaire aboutit à la formation d'une zone étroite de 70 μm d'ostéocytes détruits ou en cours de destruction dans l'os péri-implantaire. Cette zone fait plus que doubler lorsque les implants sont insérés avec des couples d'insertion élevés (figure 6).

Figure 6 : Coupes histologiques des réponses des tissus péri-implantaires aux différents couples d'insertion. La zone de nécrose est marquée d'une ligne blanche avec les ostéocytes morts incolores



Source : Cha et al., « Multiscale analyses of the bone-implant interface », 2015

Le mode de guérison est également différent avec très peu de remodelage et beaucoup de formation osseuse pour les implants insérés avec un faible couple contrairement aux implants insérés avec un couple élevé pour lesquels les microfractures générées semblent induire un remodelage important, une formation osseuse limitée et à distance.

On retrouve les mêmes résultats dans une autre étude¹⁰⁶ qui évalue l'effet d'une sous préparation du site receveur sur le couple d'insertion chez le chien. Pour les implants insérés avec un couple d'insertion élevé, des zones de nécrose osseuse étendues dans la région des 3 premières spires de l'implant sont observées. Elles évoluent vers un remodelage avec des quantités limitées d'os nouvellement formé à 3 semaines. Ces zones de remodelage semblent diminuer la stabilité de l'implant jusqu'à ce que la stabilité secondaire prenne le relais.

¹⁰⁶ Coelho et al., « Biomechanical evaluation of undersized drilling on implant biomechanical stability at early implantation times ».

Pour les implants insérés après un sous-forage limité (3,8 mm pour un implant de 4 mm) le couple d'insertion est plus faible (60 Ncm contre 90 Ncm) et on observe un processus de guérison différent (figures 7 et 8). À 3 semaines, on a une formation importante d'os tissé au niveau des chambres initialement remplies d'un caillot sanguin et de tissu ostéogénique.

Figure 7 : Coupes histologiques, à 1 semaine, de l'interface implant-os pour des sites de forage de différents diamètres

(A) et (B) présentent des zones d'os fracturé dans la région située entre les 3 premières spires de l'implant (flèches blanches). (C) présente une chambre (flèches rouges) remplie de tissu ostéogène entre le diamètre interne de l'implant et la paroi osseuse. On observe la formation de tissu osseux en petites quantités dans la chambre de guérison (flèche bleue).

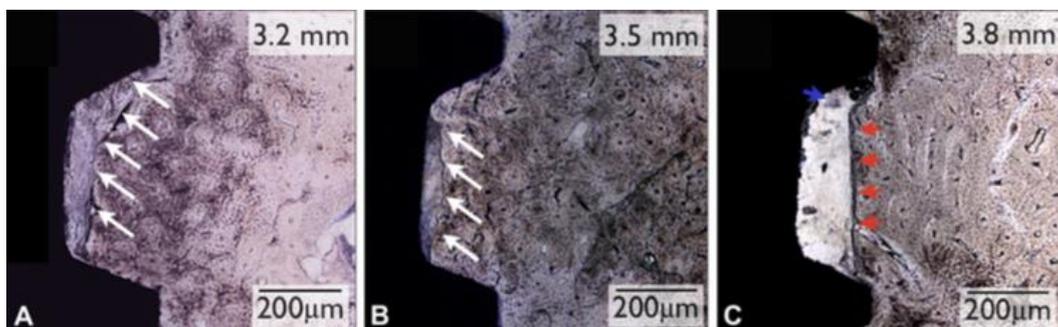
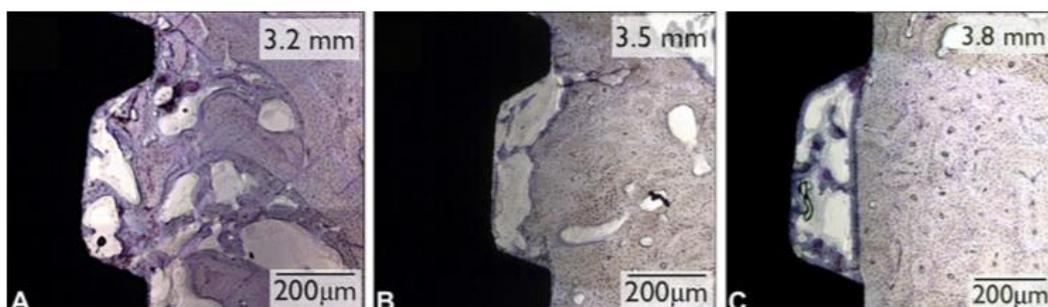


Figure 8 : Coupes histologiques, à 3 semaines, de l'interface implant-os pour des sites de forage de différents diamètres.

Avec un remodelage important et une quantité limitée d'os nouvellement formé pour (A) et (B). En (C) on a une importante formation d'os tissé de novo au niveau des parois de l'os foré, de la surface de l'implant et dans le volume de la chambre de cicatrisation.



Source : Coelho et al., « Biomechanical evaluation of undersized drilling on implant biomechanical stability at early implantation times », 2013

Rea et al.¹⁰⁷ évaluent, chez le chien, les effets de la mise en charge immédiate d'implants insérés à différents couples d'insertion. Douze implants sont insérés à des couples inférieurs à 30 Ncm et 12 autres à des couples supérieurs à 70 Ncm.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous (tableau 2) :

- Dans le cas d'implants sans mise en charge immédiate, aucune différence significative n'a été observée entre les différents couples d'insertion.
- Dans le cas d'implants mis en charge immédiatement, l'épaisseur des tissus mous et la surface de contact os-implant sont significativement plus importants pour les implants insérés avec de faibles couples.

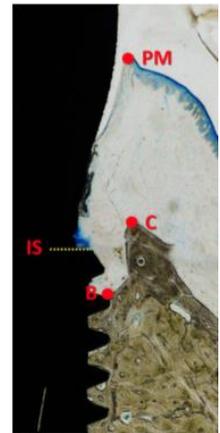


Tableau 2 : Mesures histologiques des dimensions des tissus durs et mous en millimètres

			IS-C mm buccal	IS-B mm buccal	PM-B mm buccal	PM-IS mm buccal	MBIC%	MB%
>70 Ncm	LOADED	Mean (SD)	1.0 (0.4)	1.0 (0.3)	3.5 (0.4)	2.5 (0.4)	72.2 (10.1)	72.7 (10.6)
		25th; 50th; 75th	1.0; 1.0; 1.2	1.0; 1.0; 1.2	3.3; 3.5 [*] ; 3.7	2.4; 2.7; 2.8	66.9; 70.6 [*] ; 76.3	64.9; 72.5 [*] ; 79.3
	UNLOADED	Mean (SD)	0.8 (0.4)	0.8 (0.3)	3.6 (0.6)	2.7 (0.4)	68.3 (16.1)	62.5 (9.7)
		25th; 50th; 75th	0.8; 0.8; 0.9	0.8; 0.8; 0.9	3.2; 3.4; 3.7	2.4; 2.8; 3.0	60.2; 65.2; 76.4	55.0; 59.6 [*] ; 69.9
Approximately 30 Ncm	LOADED	Mean (SD)	1.4 (0.8)	1.7 (0.8)	3.9 (0.6)	2.3 (1.0)	83.1 (6.1)	69.6 (8.8)
		25th; 50th; 75th	0.8; 1.3; 1.6	1.2; 1.6; 2.0	3.6; 3.9 [*] ; 4.1	1.4; 2.2; 3.1	80.0; 85.1 ^{**} ; 87.1	63.7; 69.2 [*] ; 75.5
	UNLOADED	Mean (SD)	0.8 (0.7)	0.8 (0.7)	3.5 (0.7)	2.7 (0.8)	72.4 (15.2)	61.5 (12.1)
		25th; 50th; 75th	0.4; 0.8; 1.2	0.3; 0.8; 1.2	2.9; 3.7; 4.1	2.2; 2.7; 2.8	61.0; 80.3 [*] ; 82.2	56.7; 62.9 [*] ; 70.2

B, coronal end of osseointegration; PM, top of the peri-implant mucosa. MBIC, mineralized bone-to-implant contact; MB, mineralized bone. Mean values, standard deviations (SD), and percentiles 25th, 50th (median), and 75th. IS, implant shoulder; C, top of the bony crest.
^{*}P < 0.05 between loaded and unloaded implants.
^{**}P < 0.05 between high and low insertion torques.

Source : Rea et al., « Influence of immediate loading on healing of implants installed with different insertion torques--an experimental study in dogs », 2015

Selon cette étude, les couples d'insertion faibles permettent d'obtenir de meilleurs résultats dans le cas d'implants mis en charge immédiatement. Cependant les résultats démontrent qu'en l'absence de mise en charge, aucune différence significative n'est observée entre les couples d'insertion élevés et faibles.

¹⁰⁷ Rea et al., « Influence of immediate loading on healing of implants installed with different insertion torques--an experimental study in dogs ».

Auteurs	Type d'étude	Nombre d'implants	Couple d'insertion du groupe test		Couple d'insertion du groupe témoin	Suivi	Résultats
Coelho PG et al. ¹⁰⁸	Animale (chien)	36	Groupe 1 90-100 Ncm	Groupe 2 80-90 Ncm	Groupe 3 60 Ncm	1 et 3 semaines	- Processus de guérison différent entre groupes 1 et 2 (remodelage important) et le groupe 3 (formation osseuse importante).
JY Cha et al. ¹⁰⁹	Multi-échelle (souris)	32	0,18 Ncm	0,05 Ncm	0 Ncm	1 semaine	- Une zone d'environ 60 µm d'ostéocytes morts ou endommagés a été identifiée autour des implants pour les couples de 0,05 Ncm. Une zone 2 fois plus large a été identifiée pour les couples de 0,18 Ncm. - Quantité significativement plus importante de microfractures pour les couples élevés avec une activité ostéoclastique plus importante.

¹⁰⁸ Coelho et al., « Biomechanical evaluation of undersized drilling on implant biomechanical stability at early implantation times ».

¹⁰⁹ Cha et al., « Multiscale analyses of the bone-implant interface ».

Auteurs	Type d'étude	Nombre d'implants	Couple d'insertion du groupe test	Couple d'insertion du groupe témoin	Suivi	Résultats
Réa et al. ¹¹⁰	Animale randomisée contrôlée (chien)	24	(12 implants) >70 Ncm	(12 implants) <30 Ncm	4 mois	<ul style="list-style-type: none"> - Épaisseur moyenne de tissus mous : <ul style="list-style-type: none"> ○ Groupe test avec mise en charge immédiate : 2,5 mm ○ Groupe témoin avec mise en charge immédiate : 3,9 mm - BIC moyen : <ul style="list-style-type: none"> ○ Plus faible pour le groupe test avec mise en charge immédiate : 72,2% ○ Groupe témoin : 83,1%

¹¹⁰ Rea et al., « Influence of immediate loading on healing of implants installed with different insertion torques--an experimental study in dogs ».

2.1.2. Études animales démontrant qu'un couple d'insertion élevé n'entraîne pas d'effet négatif sur le tissu osseux péri-implantaire

Les études sont beaucoup plus nombreuses et aboutissent toutes à la même conclusion : augmenter le couple d'insertion n'est pas délétère pour l'ostéointégration de l'implant.

Trisi et al.¹¹¹ évaluent les effets des couples d'insertion élevés sur la cicatrisation osseuse. En plaçant 40 implants dans le bord inférieur mandibulaire de 5 moutons, 20 avec un couple d'insertion faible (couple moyen de 10 Ncm) et 20 avec un couple d'insertion élevé (couple moyen de 110 Ncm), ils ont comparé les résultats histologiques, histomorphométriques et les valeurs de couple de dépose à 1, 2, 3, 4 et 5 semaines

Ils concluent que la compression osseuse provoquée par un couple d'insertion élevé n'induit pas de résorption osseuse néfaste mais produirait des microfissures osseuses qui accélèrent le remodelage osseux.

Tableau 3 : Comparaison des données histomorphométriques et biomécaniques dans les groupes à faible couple d'insertion (LT) et à couple d'insertion élevé (HT)

Data	Healing time				
	1 wk	2 wk	3 wk	4 wk	6 wk
% Cortical BIC					
LT	27.05 ± 14.78	15.75 ± 2.55	22.61 ± 17.51	50.46 ± 4.17	63.78 ± 14.28
HT	52.06 ± 6.13	62.07 ± 10.99	61.92 ± 12.33	64.90 ± 5.55	71.06 ± 15.89
%BIC					
LT	15.76 ± 16.06	8.70 ± 5.55	10.61 ± 13.93	49.89 ± 16.14	44.90 ± 8.80
HT	39.07 ± 21.86	39.11 ± 9.47	47.08 ± 5.79	43.63 ± 6.69	50.29 ± 18.42
%BV					
LT	76.04 ± 3.53	73.89 ± 4.74	69.31 ± 2.97	71.39 ± 4.31	81.02 ± 4.81
HT	84.70 ± 4.03	69.53 ± 8.41	73.34 ± 2.97	68.69 ± 2.66	75.62 ± 5.78
Removal torque					
LT	10.66 ± 3.78	16.67 ± 16.07	11.33 ± 3.21	43.67 ± 5.68	40 ± 10
HT	62.66 ± 13.32	60.17 ± 9.7	77.66 ± 22.42	89.5 ± 25.61	61.33 ± 12.06
ISQ					
LT	67.5 ± 2.08	71.25 ± 2.98	70.75 ± 0.96	67.5 ± 1.29	69.25 ± 10.01
HT	72.5 ± 6.40	71.67 ± 2.52	71 ± 2.45	70 ± 1.41	68.25 ± 2.5

Source : Trisi et al., « High versus low implant insertion torque », 2011

¹¹¹ Trisi et al., « High versus low implant insertion torque: a histologic, histomorphometric, and biomechanical study in the sheep mandible ».

Dans le groupe témoin, aucune microfracture n'est observée et le processus de remodelage s'étend très peu autour de l'implant. Cela se traduit par un BV qui augmente tout au long du processus de cicatrisation. Un large espace péri-implantaire rempli d'un caillot sanguin entoure les implants au cours des 3 premières semaines de cicatrisation corrélé à un BIC très faible. A 4 semaines on observe une augmentation soudaine du couple de dépose liée au remplacement du caillot sanguin par de l'os de novo. Cette augmentation soudaine est également corrélée à l'augmentation du BIC à 4 semaines (tableau 3).

Sur les coupes histologiques des implants du groupe test, l'os péri-implantaire est en contact intime avec la surface de l'implant, comme en témoigne les valeurs significativement plus élevées du BIC au cours des 6 semaines.

L'espace entre l'implant et l'os représentant un espace vide, la quantité moyenne d'os péri-implantaire (BV) est significativement plus élevée dans le groupe HT (high torque) que dans le groupe LT (low torque) à 1 semaine. À la deuxième semaine de cicatrisation, un processus de remodelage intense est déclenché dans l'os péri-implantaire dans un rayon de 0,2 à 1 mm de l'implant. L'os présente alors une porosité supérieure et une densité inférieure d'où un BV qui diminue et pas de différence significative entre les valeurs de BV des 2 groupes.

Néanmoins, le processus de remodelage n'affecte pas l'interface os-implant, mais plutôt une partie plus profonde de l'os car les valeurs de BIC restent très élevées tout au long du suivi pour le groupe test. On observe donc deux modes de guérison avec, à l'inverse des couples d'insertion faible, beaucoup plus de remodelage osseux et moins de formation osseuse pour les implants insérés avec un couple d'insertion élevé.

Consolo et al.¹¹² obtiennent des résultats équivalents sur une durée plus longue de cicatrisation pour le même modèle animal.

Après 12 semaines de cicatrisation, aucune des microfissures présentes initialement n'était détectable autour des 12 implants tout comme aucune différence significative entre les 2 groupes n'a été observée pour (tableau 4) :

- l'analyse de fréquence de résonance : tous les implants présentent des valeurs de RFA supérieures à 60 ISQ sans différence significative entre les deux groupes à 8 et 12 semaines de cicatrisation.

¹¹² Consolo et al., « Histologic and biomechanical evaluation of the effects of implant insertion torque on peri-implant bone healing ».

- le couple de dépose correspondant au couple nécessaire pour retirer l'implant : dans l'étude de Trisi et al. ¹¹³, le groupe HT (high torque) présentait des valeurs de couple de retrait significativement plus élevées que celles du groupe LT (low torque) pour toute la durée de l'étude. Au contraire, dans cette étude, les valeurs du couple de retrait sont élevées pour les 2 groupes sans différence significative.
- l'évaluation histologique : l'os péri-implantaire présente un aspect similaire sur les coupes histologiques des groupes contrôle et test.

Les auteurs ne précisent pas si les valeurs de BIC et de BV sont significativement différentes à 8 ou 12 semaines.

Tableau 4 : Evaluation histologique à 8 et 12 semaines des implants insérés à de faibles couples et à des couples élevés

	8-wk HT	8-wk LT	12-wk HT	12-wk LT
Insertion torque, Ncm	95	24	116.6	25
Removal torque, Ncm	140	159.5	120	131.5
ISQ	63.6	62.6	74	76
% BIC	46.06%	38.62%	45.94%	58.75%
% BV	56%	65.09%	80.67%	70.12%

HT, high-torque group; LT, low-torque group; ISQ, implant stability quotient; BIC, bone-to-implant contact; BV, bone volume.

Source : Consolo et al., « Histologic and biomechanical evaluation of the effects of implant insertion torque on peri-implant bone healing », 2013.

Duyck et al.¹¹⁴ évaluent les effets du couple d'insertion de 20 implants chez le lapin à 2 et 4 semaines. Les auteurs observent une nouvelle fois un mode de guérison différent entre le groupe contrôle (implants insérés avec des valeurs inférieures à 10 Ncm) et le groupe test (implants insérés avec des valeurs supérieures à 50 Ncm).

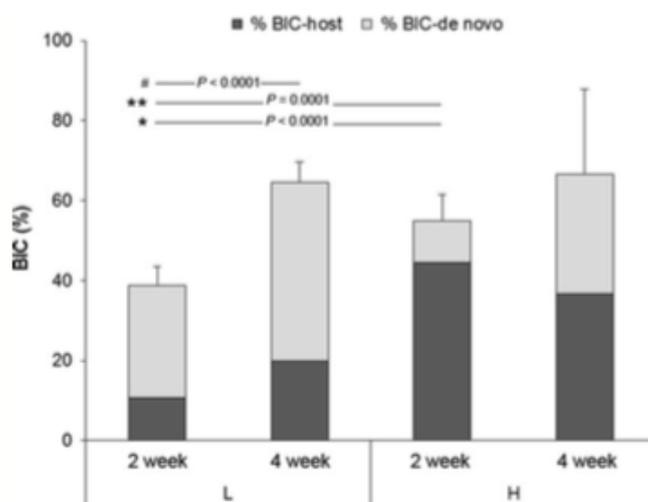
Plusieurs variables histomorphométriques sont étudiées :

- BIC hôte : somme des longueurs de contact entre l'implant et l'os hôte / longueur de l'implant.
- BIC de novo : somme des longueurs de contact entre l'implant et l'os nouvellement formé / longueur de l'implant.
- BA/TA : quantité d'os dans une zone de référence spécifique.

¹¹³ Trisi et al., « High versus low implant insertion torque: a histologic, histomorphometric, and biomechanical study in the sheep mandible ».

¹¹⁴ Duyck et al., « Effect of insertion torque on titanium implant osseointegration : an animal experimental study ».

Tableau 5 : Mesures histomorphométriques du BIC (hôte, de novo et total) dans le groupe test (H : high torque) et le groupe témoin (L : low torque)



Source : Duyck et al., « Effect of insertion torque on titanium implant osseointegration », 2015.

D'après le schéma ci-dessus (tableau 5), l'analyse histomorphométrique nous livre des valeurs significativement plus élevées du BIC hôte pour le groupe test (groupe H) par rapport au groupe témoin (groupe L) à 2 semaines uniquement. Il y a dans le groupe test un processus de remodelage qui fait que la quantité d'os-hôte diminue à 4 semaines.

Aucune différence significative n'a été constatée pour les valeurs de BIC de novo entre les deux groupes même si la valeur du BIC de novo du groupe contrôle s'est multipliée par deux en 2 semaines. En ce qui concerne les valeurs de BA/TA, l'équivalent du BV présenté précédemment, elles sont significativement plus importantes pour le groupe test avec une légère augmentation à 4 semaines en dépit du remodelage.

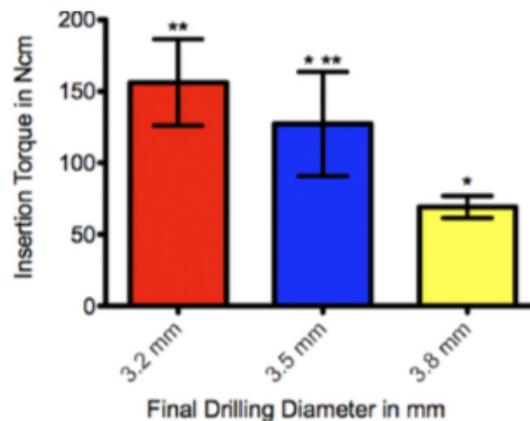
Ces résultats rejoignent les conclusions des 2 études précédentes^{115 116} sur la différence de processus de guérison entre les 2 groupes. Il y a un remodelage osseux lorsqu'on utilise un couple d'insertion faible ou élevé mais il est plus important pour les implants insérés à des couples élevés. Cependant, aucune des valeurs observées ne démontre un quelconque effet négatif des couples d'insertion élevés sur le processus d'ostéointégration.

¹¹⁵ Trisi et al., « High versus low implant insertion torque: a histologic, histomorphometric, and biomechanical study in the sheep mandible ».

¹¹⁶ Consolo et al., « Histologic and biomechanical evaluation of the effects of implant insertion torque on peri-implant bone healing ».

Campos et al.¹¹⁷ reviennent sur ces différents processus de cicatrisation osseux en évoquant l'existence d'une « zone nécrotique » associée à l'utilisation d'un couple élevé. Trente-six implants ont été insérés sur les radius de 6 chiens avec 3 diamètres de préparation (3.2 mm, 3.5 mm et 3.8 mm) pour chaque radius (tableau 6) :

Tableau 6 : Valeurs du couple d'insertion pour les différents diamètres de préparation



Source : Campos et al., « Effect of drilling dimension on implant placement torque and early osseointegration stages », 2012.

En fonction du couple d'insertion on obtient deux modes de guérison évalués ici à 1 et 3 semaines :

- Pour les couples d'insertion élevés, on a des zones importantes de contact entre l'os et le l'implant immédiatement après sa mise en place. À 1 semaine, une région nécrotique est observée dans la région située entre les 3 premières spires. Après 1 à 3 semaines, cette région osseuse nécrotique a subi un remodelage et devient le siège d'une nouvelle formation osseuse (pour les groupes 3.2 et 3.5 mm avec une valeur de couple entre 80 et 180 Ncm).
- Pour les couples d'insertion faible, immédiatement après la pose de l'implant, on obtient des espaces vides entre l'implant et l'os hôte remplis d'un caillot sanguin. A 1 semaine le caillot se transforme progressivement en une matrice provisoire de tissu conjonctif avec une teneur élevée en cellules mésenchymateuses qui servira ensuite d'échafaudage pour une ossification de type intramembranaire. Il n'y a pas de zone osseuse nécrotique étendue dans les régions où l'implant est en contact intime avec l'os.

Au niveau histomorphométrique, aucune différence significative n'est observée entre les différents groupes. On peut cependant remarquer une augmentation importante du BIC et du BAFO (Bone area

¹¹⁷ Campos et al., « Effect of drilling dimension on implant placement torque and early osseointegration stages : an experimental study in dogs ».

fraction occupié, équivalent du BV) au cours du processus de cicatrisation au sein des différents groupes.

A la vue de ces résultats on peut en déduire que :

- Un couple d'insertion élevé augmente la stabilité primaire mais aussi la quantité de nécrose et de remodelage interfacial, qui peut potentiellement réduire la stabilité de l'implant jusqu'à ce que la stabilité secondaire soit atteinte.
- Un couple d'insertion faible ne permet pas d'obtenir une stabilité primaire optimale mais réduit la taille de la zone nécrotique et la quantité de remodelage osseux. On aura une stabilité primaire faible dès le début mais l'obtention de la stabilité secondaire se fera plus rapidement.

Pantani et al.¹¹⁸ réalisent la même étude en évaluant les effets d'une sous-préparation du site implantaire sur l'ostéointégration et les niveaux osseux péri-implantaires. Vingt-quatre implants sont insérés au niveau de la deuxième prémolaire et de la première molaire à chaque hémi-mandibule chez le chien. Les implants du groupe contrôle sont insérés dans un site avec une préparation adaptée au diamètre de l'implant alors que les implants du groupe test sont insérés dans un site sous-dimensionné augmentant le couple d'insertion.

Bien que les couples d'insertion du groupe test ne soient pas très élevés, avec une moyenne maximale de 35.8 Ncm (inférieure à 45 Ncm) au niveau prémolaire, les auteurs n'observe aucune différence statistique entre les 2 groupes pour toutes les variables étudiées (BIC, résorption de l'os crestal). (Tableau 7 et 8)

Tableau 7 : Évaluation histomorphométrique des sites test et contrôle dans les régions prémolaire et molaire

	M-C (mm)		M-B (mm)		BIC (%)		Mineralization (%)
	b	l	b	l	Total	Threads	Total
Test/premolar	1.2 (0.3)	0.2 (0.3)	1.6 (0.6)	0.8 (0.2)	59 (14.7)	66.6 (14.4)	82.3 (9)
Control/premolar	1 (0.3)	-0.1 (0.7)	1.3 (0.4)	0.8 (0.2)	48.6 (8.8)	52.7 (17.2)	80.4 (7.8)
Test/molar	0.9 (0.8)	0.5 (0.8)	1.2 (0.9)	0.9 (0.8)	51.7 (16.2)	60.6 (10.1)	75.1 (8.6)
Control/molar	0.8 (1.4)	0.5 (1.6)	1.7 (0.8)	1.1 (0.8)	54.1 (15.1)	60 (18.3)	70.3 (12.5)

No statistically significant differences between test and control sites. Mean values (SD).
b, buccal; l, lingual; M-C, rough/smooth interface border to bony crest; M-B, rough/smooth interface border to most coronal bone-to-implant contact; BIC, bone to-implant contact percentages for the total length of the implant surface (from B to B) and within the threads.

Source : Pantani et al., « Influence of lateral pressure to the implant bed on osseointegration: an experimental study in dogs », 2010.

¹¹⁸ Pantani et al., « Influence of lateral pressure to the implant bed on osseointegration : an experimental study in dogs ».

Tableau 8 : Valeurs moyennes du couple d'insertion (SD) appliquées aux différents sites d'implantation et aux sites de test et de contrôle

Test vs. control site preparation				Premolar vs. molar region			
Premolar		Molar		Test		Control	
Test	Control	Test	Control	P2	M1	P2	M1
35.8 (10.7)*	15 (5.5)	19.2 (7.4)*	6.7 (4.2)	35.8 (10.7)*	19.2 (7.4)	15 (5.5)*	6.7 (4.2)

*P<0.05 between control and test.

Source : Pantani et al., « Influence of lateral pressure to the implant bed on osseointegration : an experimental study in dogs », 2010.

Dans une autre étude, Cohen et al.¹¹⁹ évaluent la cicatrisation osseuse péri-implantaire, plus particulièrement au niveau du col, chez le lapin. Dans le groupe test, 20 implants sont insérés à des couples supérieurs à 35 Ncm tandis que dans le groupe témoin, 20 implants sont insérés à des couples inférieurs à 10 Ncm sans préciser les valeurs moyennes.

Après un délai de cicatrisation de 6 semaines, ils observent histologiquement une destruction osseuse et un remodelage plus important le long des implants insérés avec un couple élevé. Au niveau histomorphométrique, le BIC crestal moyen pour le groupe test est de 38,4% et de 28,7% pour le groupe témoin sans différence significative. Il en est de même pour le BIC total qui est équivalent entre les deux groupes. Les auteurs concluent qu'un sous forage, à l'origine d'une augmentation du couple d'insertion, pourrait augmenter la résorption au niveau crestal cependant rien ne le prouve dans cette étude.

Dans une récente étude¹²⁰, un total de 60 implants de diamètre 3.5 mm sont insérés dans les mandibules de 10 mini-porcs, divisés en 3 groupes en fonction du diamètre de préparation du site implantaire :

- Groupe 1 avec un diamètre de 3.0 mm et un couple d'insertion > 50 Ncm
- Groupe 2 avec un diamètre de 3.3 mm et un couple moyen de 32.7 Ncm
- Groupe 3 avec un diamètre de 3.5 mm et un couple moyen de 3.3 Ncm

¹¹⁹ Cohen et al., « Differences in crestal bone-to-implant contact following an under-drilling compared to an over-drilling protocol. a study in the rabbit tibia ».

¹²⁰ Eom et al., « Effects of different implant osteotomy preparation sizes on implant stability and bone response in the minipig mandible ».

Les résultats révèlent que la stabilité primaire, déterminée par la RFA, le BIC et la BA sont plus importants lorsqu'on utilise un couple élevé même si aucune différence significative à 5 semaines n'est observée entre les groupes pour la RFA et le BIC. La vitesse de formation osseuse était plus lente et la vitesse de résorption de l'os marginal plus rapide pour les couples élevés même si aucune différence significative n'était observée à 5 semaines entre les différents groupes.

Auteurs	Type d'étude	Nombre d'implants	Couple d'insertion du groupe test	Couple d'insertion du groupe témoin	Suivi	Résultats						
Trisi et al. ¹²¹	Animale, randomisée, contrôlée (mouton)	40	(20 implants) couple moyen de 110 Ncm	(20 implants) couple moyen de 10 Ncm	1,2,3,4 et 6 semaines	- Valeurs histologiques (BIC, BV, couple de désinsertion) significativement plus importante pour le groupe test :						
							BIC (1s)	BIC (6s)	BV (1s)	BV (6s)	Couple de désinsertion (1s)	Couple de désinsertion (6s)
						Groupe test	62,07%	50,29%	84,7%	81,02%	62,66 Ncm	61,33 Ncm
						Groupe témoin	15,75%	44,9%	76,04%	75,62%	10,66 Ncm	40 Ncm
Consolo et al. ¹²²	Animale randomisée, contrôlée (mouton)	12	(6 implants) >25 Ncm (couple moyen de 105,6 Ncm)	(6 implants) <25 Ncm (couple moyen de 24 Ncm)	8 et 12 semaines	- Pas de différence significative au niveau histologique						
							BIC (8s)	BIC (12s)	BV (8s)	BV (12s)	Couple de désinsertion ((8s)	Couple de désinsertion (12s)
						Groupe test	46,06%	45,94%	56%	80,67%	140 Ncm	120 Ncm
						Groupe témoin	38,62%	58,75%	65,09%	70,12%	159,5 Ncm	131,5 Ncm

¹²¹ Trisi et al., « High versus low implant insertion torque: a histologic, histomorphometric, and biomechanical study in the sheep mandible ».

¹²² Consolo et al., « Histologic and biomechanical evaluation of the effects of implant insertion torque on peri-implant bone healing ».

Auteurs	Type d'étude	Nombre d'implants	Couple d'insertion du groupe test	Couple d'insertion du groupe témoin	Suivi	Résultats																						
Campos et al. ¹²³	Animale (chien)	36	(12 implants)	(12 implants)	(12 implants)	1 et 3 semaines	Pas de différence significative au niveau histologique (BIC et BV) - Schéma de guérison différents entre les groupes.																					
			150 Ncm	120Ncm	60 Ncm			<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>BIC (2s)</th> <th>BIC (4s)</th> <th>BV (2s)</th> <th>BV (4s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Groupe 1 (préparation de 3,2 mm)</td> <td>39%</td> <td>65%</td> <td>42%</td> <td>61%</td> </tr> <tr> <td>Groupe 2 (préparation de 3,5 mm)</td> <td>40%</td> <td>62%</td> <td>48%</td> <td>55%</td> </tr> <tr> <td>Groupe 3 (préparation de 3,8 mm)</td> <td>39%</td> <td>60%</td> <td>40%</td> <td>60%</td> </tr> </tbody> </table>		BIC (2s)	BIC (4s)	BV (2s)	BV (4s)	Groupe 1 (préparation de 3,2 mm)	39%	65%	42%	61%	Groupe 2 (préparation de 3,5 mm)	40%	62%	48%	55%	Groupe 3 (préparation de 3,8 mm)	39%	60%	40%	60%
				BIC (2s)	BIC (4s)			BV (2s)	BV (4s)																			
			Groupe 1 (préparation de 3,2 mm)	39%	65%			42%	61%																			
Groupe 2 (préparation de 3,5 mm)	40%	62%	48%	55%																								
Groupe 3 (préparation de 3,8 mm)	39%	60%	40%	60%																								
Pantani et al. ¹²⁴	Animale (chien)	24	Valeur moyenne de 35,8 Ncm (région prémolaire) et 19,2 Ncm (région molaire)	Valeur moyenne de 15 Ncm (région prémolaire) et 6,7 Ncm (région molaire)	4 mois	Pas de différence significative au niveau histologique <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>BIC prémolaire</th> <th>BIC molaire</th> <th>Résorption osseuse prémolaire</th> <th>Résorption osseuse molaire</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Groupe test</td> <td>59%</td> <td>51,7%</td> <td>1,2 mm</td> <td>0,9 mm</td> </tr> <tr> <td>Groupe témoin</td> <td>48,6%</td> <td>54,1%</td> <td>1 mm</td> <td>0,8 mm</td> </tr> </tbody> </table>		BIC prémolaire	BIC molaire	Résorption osseuse prémolaire	Résorption osseuse molaire	Groupe test	59%	51,7%	1,2 mm	0,9 mm	Groupe témoin	48,6%	54,1%	1 mm	0,8 mm							
				BIC prémolaire			BIC molaire	Résorption osseuse prémolaire	Résorption osseuse molaire																			
			Groupe test	59%			51,7%	1,2 mm	0,9 mm																			
Groupe témoin	48,6%	54,1%	1 mm	0,8 mm																								

¹²³ Campos et al., « Effect of drilling dimension on implant placement torque and early osseointegration stages : an experimental study in dogs ».

¹²⁴ Pantani et al., « Influence of lateral pressure to the implant bed on osseointegration : an experimental study in dogs ».

Auteurs	Type d'étude	Nombre d'implants	Couple d'insertion du groupe test	Couple d'insertion du groupe témoin	Suivi	Résultats															
Cohen et al. ¹²⁵	Animale (lapin)	40	(20 implants) >35 Ncm	(20 implants) <10 Ncm	3 et 6 semaines	<p>BIC crestal significativement plus important pour le groupe test à 3 semaines uniquement et BIC totaux équivalents pendant toute la durée de l'étude.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>BIC crestal (3s)</th> <th>BIC crestal (6s)</th> <th>BIC total (3s)</th> <th>BIC total (6s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Groupe test (sous préparation)</td> <td>31,5%</td> <td>38,4%</td> <td>18,3%</td> <td>21,8%</td> </tr> <tr> <td>Groupe témoin (sur-préparation)</td> <td>16,3%</td> <td>28,7%</td> <td>14,6%</td> <td>23,8%</td> </tr> </tbody> </table>		BIC crestal (3s)	BIC crestal (6s)	BIC total (3s)	BIC total (6s)	Groupe test (sous préparation)	31,5%	38,4%	18,3%	21,8%	Groupe témoin (sur-préparation)	16,3%	28,7%	14,6%	23,8%
	BIC crestal (3s)	BIC crestal (6s)	BIC total (3s)	BIC total (6s)																	
Groupe test (sous préparation)	31,5%	38,4%	18,3%	21,8%																	
Groupe témoin (sur-préparation)	16,3%	28,7%	14,6%	23,8%																	
Duyck et al. ¹²⁶	Animale, randomisée, contrôlée (lapin)	20	(10 implants) >50 Ncm	(10 implants) <10 Ncm	2 et 4 semaines	<p>BIC significativement plus important dans le groupe test dans les premières phases de la cicatrisation (2 semaines).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>BIC (2s)</th> <th>BIC (4s)</th> <th>BV (2s)</th> <th>BV (4s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Groupe test</td> <td>54,84%</td> <td>66%</td> <td>27,45%</td> <td>36,26%</td> </tr> <tr> <td>Groupe témoin</td> <td>38,78%</td> <td>64,45%</td> <td>22%</td> <td>26,93%</td> </tr> </tbody> </table>		BIC (2s)	BIC (4s)	BV (2s)	BV (4s)	Groupe test	54,84%	66%	27,45%	36,26%	Groupe témoin	38,78%	64,45%	22%	26,93%
	BIC (2s)	BIC (4s)	BV (2s)	BV (4s)																	
Groupe test	54,84%	66%	27,45%	36,26%																	
Groupe témoin	38,78%	64,45%	22%	26,93%																	

¹²⁵ Cohen et al., « Differences in crestal bone-to-implant contact following an under-drilling compared to an over-drilling protocol. a study in the rabbit tibia ».

¹²⁶ Duyck et al., « Effect of insertion torque on titanium implant osseointegration : an animal experimental study ».

Auteurs	Type d'étude	Nombre d'implants	Couple d'insertion du groupe expérimental	Couple d'insertion du groupe contrôle	Suivi	Résultats																													
Eom et al. ¹²⁷	Animale (mini-cochon)	60	<u>Groupe 1</u> >50 Ncm	<u>Groupe 2</u> 32,7 Ncm (couple moyen)	<u>Groupe 3</u> 3,3 Ncm (couple moyen)	1,3 et 5 semaines	<p><u>Microfractures de l'os cortical</u> : groupes 1 et 2 seulement.</p> <p><u>RFA</u> : Groupe 1 significativement plus important que groupe 3 à 1 semaine seulement.</p> <p><u>BIC</u> : significativement plus important pour groupe 1 (>50 Ncm) à 1 semaine seulement.</p> <p><u>BV</u> significativement plus important les couples élevés pendant toute la durée de cicatrisation.</p> <p><u>Résorption de l'os marginal</u> : pas de différence significative</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>BIC (1s)</th> <th>BIC (5s)</th> <th>BV (1s)</th> <th>BV (5s)</th> <th>Résorption de l'os marginal (1s)</th> <th>Résorption de l'os marginal (5s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Groupe 1</td> <td>85,5%</td> <td>80 %</td> <td>85,4%</td> <td>80,6%</td> <td>0,2 mm</td> <td>0,6 mm</td> </tr> <tr> <td>Groupe 2</td> <td>56%</td> <td>73,2%</td> <td>47,7%</td> <td>66,4%</td> <td>0,2 mm</td> <td>0,5 mm</td> </tr> <tr> <td>Groupe 3</td> <td>0%</td> <td>66,6%</td> <td>20,9%</td> <td>51,7%</td> <td>0,3 mm</td> <td>0,5 mm</td> </tr> </tbody> </table>		BIC (1s)	BIC (5s)	BV (1s)	BV (5s)	Résorption de l'os marginal (1s)	Résorption de l'os marginal (5s)	Groupe 1	85,5%	80 %	85,4%	80,6%	0,2 mm	0,6 mm	Groupe 2	56%	73,2%	47,7%	66,4%	0,2 mm	0,5 mm	Groupe 3	0%	66,6%	20,9%	51,7%	0,3 mm	0,5 mm
	BIC (1s)	BIC (5s)	BV (1s)	BV (5s)	Résorption de l'os marginal (1s)	Résorption de l'os marginal (5s)																													
Groupe 1	85,5%	80 %	85,4%	80,6%	0,2 mm	0,6 mm																													
Groupe 2	56%	73,2%	47,7%	66,4%	0,2 mm	0,5 mm																													
Groupe 3	0%	66,6%	20,9%	51,7%	0,3 mm	0,5 mm																													

¹²⁷ Eom et al., « Effects of different implant osteotomy preparation sizes on implant stability and bone response in the minipig mandible ».

2.2. Effets des couples d'insertion élevés (études cliniques)

En ce qui concerne les études cliniques, bien évidemment, l'évaluation histologique qui impliquerait un carottage de l'implant et de son os périphérique n'est pas utilisée. Les études évaluent donc le couple d'insertion de l'implant au moment de la pose, l'évolution radiologique de l'os marginal à l'aide de mesures à plusieurs stades de la cicatrisation ainsi que la fréquence de résonance de l'implant au moment de la pose et au cours du temps. En fonction des critères habituels, l'ostéointégration de l'implant est qualifiée de succès ou d'échec.

2.2.1. Études cliniques démontrant qu'un couple d'insertion élevé pourrait causer une résorption osseuse ou n'apporte pas un réel intérêt

Bashutski et al.¹²⁸ publient un cas clinique où 4 implants sont insérés chez une femme de 48 ans. Ces 4 implants ne parviennent pas à s'ostéointégrer, les auteurs émettent donc l'hypothèse que l'utilisation d'un couple d'insertion élevé pourrait être la cause de cet échec. Celui-ci aurait abouti à une nécrose osseuse par compression. Cependant ils ne précisent pas le couple d'insertion des implants.

Une biopsie révèle la présence de séquestres osseux avec colonisation bactérienne mais aussi d'une nécrose aseptique de l'os adjacent à l'implant, confortant l'idée que les implants ont échoué en raison d'un traumatisme physique de l'os environnant ou d'un retard de cicatrisation dans la région.

Dans ce cas clinique, rien ne prouve que le couple d'insertion soit à l'origine de l'échec implantaire. Pourtant, en dépit de son faible niveau de preuve, plusieurs auteurs reprennent cette étude pour appuyer leurs arguments.^{129 130 131}

¹²⁸ Bashutski, D'Silva, et Wang, « Implant compression necrosis : current understanding and case report ».

¹²⁹ Marconcini et al., « Longitudinal analysis on the effect of insertion torque on delayed single implants : a 3-year randomized clinical study ».

¹³⁰ Barone et al., « The effect of insertion torque on the clinical outcome of single implants : a randomized clinical trial ».

¹³¹ Jimbo et al., « The impact of a modified cutting flute implant design on osseointegration ».

Un groupe de chercheurs a réalisé une étude clinique randomisée dans laquelle 116 implants ont été insérés chez 116 patients au niveau de crêtes cicatrisées avec un faible couple (inférieur à 50 Ncm) ou un couple élevé (entre 50 et 100 Ncm). L'ostéointégration de l'implant a été suivi à 1 an¹³², 2 ans¹³³ et 3 ans¹³⁴.

Les résultats aux différents temps de cicatrisation sont les mêmes : on obtient une résorption de l'os crestale et une récession des tissus mous significativement plus importante pour les couples d'insertion élevés avec des valeurs plus importantes à la mandibule qu'au maxillaire. La différence est encore plus significative, en ce qui concerne la récession des tissus mous, lorsque l'épaisseur de la corticale après ostéotomie est inférieure à 1 mm (tableau 9).

Tableau 9 : Taux de succès, récession des tissus mous et résorption de l'os crestal dans le groupe test et le groupe contrôle

		Résorption de l'os crestal (3m)	Résorption de l'os crestal (3a)	Récession des tissus mous (3a)	Taux de succès (3a)
Groupe test	Maxillaire	0,39 mm	1,16 mm	-0,66 mm	91,3%
	Mandibulaire	0,96 mm	1,53 mm	-1,53 mm	
Groupe contrôle	Maxillaire	0 mm	0,96 mm	-0,03 mm	98,2%
	Mandibulaire	0,03 mm	1,03 mm	-0,4 mm	

Source : Marconcini et al., « Longitudinal analysis on the effect of insertion torque on delayed single implants : a 3-year randomized clinical study », 2018

En revanche ils ne précisent pas si le taux d'échec implantaire est significativement plus important pour les implants insérés à des couples élevés.

Cette étude clinique présente un biais important : les implants insérés à de faibles couples ont une géométrie de spire différente de ceux insérés à des couples élevés ce qui peut avoir un impact sur la

¹³² Barone et al., « The effect of insertion torque on the clinical outcome of single implants : a randomized clinical trial ».

¹³³ Alfonsi et al., « The clinical effects of insertion torque for implants placed in healed ridges : a two-year randomized controlled clinical trial ».

¹³⁴ Marconcini et al., « Longitudinal analysis on the effect of insertion torque on delayed single implants : a 3-year randomized clinical study ».

répartition des contraintes sur l'os, notamment au niveau de l'os crestal. Il aurait été encore plus pertinent d'effectuer cette étude sur un modèle split-mouth pour éviter les biais liés à l'état général du patient.

Adahlawi et al.¹³⁵ aboutissent aux mêmes conclusions. Dans une étude clinique rétrospective ils évaluent les effets du couple d'insertion de l'implant sur le remodelage de l'os crestal après 1 an de mise en fonction.

113 implants de même géométrie sont divisés en 2 groupes :

- 51 implants (groupe A) insérés avec un couple > 55 Ncm avec un taux de survie de 96%
- 62 implants (groupe B) insérés avec un couple < 55 Ncm avec un taux de survie de 93,5%

Même si le taux de survie est plus important, ils observent une perte significativement plus importante de l'os crestal pour les couples élevés comparé aux couples inférieurs à 55 Ncm (tableau 10).

La perte est significativement plus importante à la mandibule qu'au maxillaire. La mandibule ayant un os plus dense car plus corticalisé que le maxillaire, on en déduit une corrélation entre le couple d'insertion et la densité osseuse.

Tableau 10 : Taux de succès et résorption de l'os crestal dans le groupe test et le groupe contrôle

	Résorption de l'os crestal	Taux de succès (12,87m)	
Groupe test	0,95 mm	96%	94,6%
Groupe témoin	0,18mm	93,5%	

Source : Aldahlawi, Demeter, et Irinakis, « The effect of implant placement torque on crestal bone remodeling after 1 year of loading », 2018.

Norton et al. reviennent sur la corrélation entre le couple d'insertion et le succès implantaire. Dans une première étude clinique prospective¹³⁶, 30 implants sont insérés puis divisés en 5 groupes avec des couples d'insertion différents : < 5 Ncm, compris entre 5 et 10 Ncm, 10 Ncm, 15 Ncm et 20 Ncm. Ils concluent que des couples d'insertion inférieurs à 20 Ncm, et parfois même très faibles, donnent non seulement des taux de succès comparables aux couples d'insertion habituels (entre 30 et 45 Ncm),

¹³⁵ Aldahlawi, Demeter, et Irinakis, « The effect of implant placement torque on crestal bone remodeling after 1 year of loading ».

¹³⁶ Norton, « The influence of low insertion torque on primary stability, implant survival, and maintenance of marginal bone levels : a closed-cohort prospective study ».

mais réduisent également les dommages aux tissus environnants, produisant des niveaux osseux marginaux favorables à court et moyen termes. Il convient de préciser que cette étude ne possède pas de groupe contrôle et que les couples élevés n'ont pas été testés.

Dans une étude du même auteur en 2011¹³⁷, 68 implants sont insérés à des couples inférieurs à 25 Ncm et suivis sur 5 ans. Ils constatent une perte osseuse péri-implantaire marginale minimale et des taux de survie élevés suggérant que l'ostéointégration de l'implant pourrait ne pas avoir une relation linéaire avec les valeurs du couple d'insertion. Ils concluent qu'un couple de seulement 25 Ncm semble plus que suffisant pour produire un résultat clinique favorable et qu'il peut y avoir une idée fautive sur ce que représente réellement une stabilité primaire adéquate. La mise en place immédiate d'implants unitaires avec un couple d'insertion relativement faible peut aboutir à des taux de survie favorables et un maintien optimal des niveaux osseux marginaux par rapport à la norme généralement acceptée.

Ces auteurs défendent la théorie que le couple d'insertion n'est pas une valeur fiable pour prévoir le succès ou l'échec implantaire. La fréquence de résonance serait plus fiable et non corrélée au couple d'insertion.

¹³⁷ Norton, « The influence of insertion torque on the survival of immediately placed and restored single-tooth implants ».

Auteurs	Type d'étude	Nombre d'implants	Couple d'insertion du groupe test	Couple d'insertion du groupe contrôle	Suivi	Résultats																										
Bashutski et al. ¹³⁸	Cas clinique	4	Pas précisé		3 mois	<ul style="list-style-type: none"> - Causes hypothétiques de l'échec implantaire : <ul style="list-style-type: none"> o Élévation de la température au cours de l'ostéotomie. o Nécrose par compression de l'os (os dense sans taraudage). o Maladie systémique non diagnostiquée (carence en fer) sachant que tous les implants ont été affectés de la même manière. 																										
(1) Barone et al. (2) Alfonsi et al. (3) Marconcini et al. ¹³⁹	Étude clinique longitudinale, randomisée	116	(58 implants CT) 50-100 Ncm	(58 implants Blossom CT) 20-50 Ncm	1 an (1), 2 ans (2) 3 ans (3)	<ul style="list-style-type: none"> - Perte osseuse marginale et récession des tissus mous significativement plus importantes pour le groupe test (surtout à la mandibule) - Les sites avec une paroi osseuse épaisse après ostéotomie (>1 mm) présentent une plus faible récession des tissus mous faciaux. - Taux de survie global de 96,5% <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>Résorption de l'os crestal (3m)</th> <th>Résorption de l'os crestal (3a)</th> <th>Récession des tissus mous (3a)</th> <th>Taux de survie (3a)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Groupe test</td> <td>Max</td> <td>0,39 mm</td> <td>1,16 mm</td> <td>-0,66 mm</td> <td rowspan="2">91,3%</td> </tr> <tr> <td>Mand.</td> <td>0,96 mm</td> <td>1,53 mm</td> <td>-1,53 mm</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Groupe contrôle</td> <td>Max</td> <td>0 mm</td> <td>0,96 mm</td> <td>-0,03 mm</td> <td rowspan="2">98,2%</td> </tr> <tr> <td>Mand</td> <td>0,03 mm</td> <td>1,03 mm</td> <td>-0,4 mm</td> </tr> </tbody> </table>			Résorption de l'os crestal (3m)	Résorption de l'os crestal (3a)	Récession des tissus mous (3a)	Taux de survie (3a)	Groupe test	Max	0,39 mm	1,16 mm	-0,66 mm	91,3%	Mand.	0,96 mm	1,53 mm	-1,53 mm	Groupe contrôle	Max	0 mm	0,96 mm	-0,03 mm	98,2%	Mand	0,03 mm	1,03 mm	-0,4 mm
		Résorption de l'os crestal (3m)	Résorption de l'os crestal (3a)	Récession des tissus mous (3a)	Taux de survie (3a)																											
Groupe test	Max	0,39 mm	1,16 mm	-0,66 mm	91,3%																											
	Mand.	0,96 mm	1,53 mm	-1,53 mm																												
Groupe contrôle	Max	0 mm	0,96 mm	-0,03 mm	98,2%																											
	Mand	0,03 mm	1,03 mm	-0,4 mm																												

¹³⁸ Bashutski, D'Silva, et Wang, « Implant compression necrosis : current understanding and case report ».

¹³⁹ Barone et al., « Radiographic bone density around immediately loaded oral implants »; Alfonsi et al., « The clinical effects of insertion torque for implants placed in healed ridges : a two-year randomized controlled clinical trial »; Marconcini et al., « Longitudinal analysis on the effect of insertion torque on delayed single implants : a 3-year randomized clinical study ».

Auteurs	Type d'étude	Nombre d'implants	Couple d'insertion du groupe test	Couple d'insertion du groupe contrôle	Suivi	Résultats											
Norton et al. ¹⁴⁰	Étude clinique prospective de cohorte fermée	30	<5 N.cm 5<x<10 N.cm 10 N.cm 15 N.cm 20 N.cm	Pas de groupe contrôle	1 an	<ul style="list-style-type: none"> Résorption de l'os marginal : seulement 7,2% des implants ont une perte osseuse >0,5 mm avec un maximum de 2,82 mm. <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Résorption de l'os marginal en mésial (1a)</th> <th>Résorption de l'os marginal en distal (1a)</th> <th>Taux de survie (1a)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Implants</td> <td>0,06 mm</td> <td>0,19 mm</td> <td>96,7%</td> </tr> </tbody> </table>		Résorption de l'os marginal en mésial (1a)	Résorption de l'os marginal en distal (1a)	Taux de survie (1a)	Implants	0,06 mm	0,19 mm	96,7%			
	Résorption de l'os marginal en mésial (1a)	Résorption de l'os marginal en distal (1a)	Taux de survie (1a)														
Implants	0,06 mm	0,19 mm	96,7%														
Norton et al. ¹⁴¹	Étude clinique prospective	68	<25 N.cm (10/15/20/25 N.cm) Couple moyen de 22,5 Ncm	Pas de groupe contrôle	Suivi moyen de 46 mois (entre 1,25 an et 9,5 ans)	<ul style="list-style-type: none"> Taux de survie de 95,5%. Pas de différence significative entre les couples d'insertion pour la perte d'os marginale. Quantité minimale de perte osseuse péri-implantaire marginale, avec des taux de survie élevés. <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Résorption de l'os marginal en mésial</th> <th>Résorption de l'os marginal en distal</th> <th>Taux de survie (1,5a à 9a)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10-20 Ncm</td> <td>0,28 mm</td> <td>0,20 mm</td> <td rowspan="2">95,5%</td> </tr> <tr> <td>25 Ncm</td> <td>0,69 mm</td> <td>0,84 mm</td> </tr> </tbody> </table>		Résorption de l'os marginal en mésial	Résorption de l'os marginal en distal	Taux de survie (1,5a à 9a)	10-20 Ncm	0,28 mm	0,20 mm	95,5%	25 Ncm	0,69 mm	0,84 mm
	Résorption de l'os marginal en mésial	Résorption de l'os marginal en distal	Taux de survie (1,5a à 9a)														
10-20 Ncm	0,28 mm	0,20 mm	95,5%														
25 Ncm	0,69 mm	0,84 mm															

¹⁴⁰ Norton, « The influence of insertion torque on the survival of immediately placed and restored single-tooth implants ».

¹⁴¹ Norton, « The influence of low insertion torque on primary stability, implant survival, and maintenance of marginal bone levels : a closed-cohort prospective study ».

Auteurs	Type d'étude	Nombre d'implants	Couple d'insertion du groupe test	Couple d'insertion du groupe contrôle	Suivi	Résultats											
Aldahlawi et al. ¹⁴²	Étude clinique rétrospective	113	(51 implants) >55 Ncm	(62 implants) <55 Ncm	12,87 mois	<ul style="list-style-type: none"> - Résorption significativement plus importante de l'os crestal du groupe test par rapport au groupe témoin. - Résorption plus importante à la mandibule qu'au maxillaire uniquement pour le groupe test. <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Résorption de l'os crestal</th> <th colspan="2">Taux de survie (12,87m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Groupe test</td> <td>0,95 mm</td> <td>96%</td> <td rowspan="2">94,6%</td> </tr> <tr> <td>Groupe témoin</td> <td>0,18mm</td> <td>93,5%</td> </tr> </tbody> </table>		Résorption de l'os crestal	Taux de survie (12,87m)		Groupe test	0,95 mm	96%	94,6%	Groupe témoin	0,18mm	93,5%
	Résorption de l'os crestal	Taux de survie (12,87m)															
Groupe test	0,95 mm	96%	94,6%														
Groupe témoin	0,18mm	93,5%															

¹⁴² Aldahlawi, Demeter, et Irinakis, « The effect of implant placement torque on crestal bone remodeling after 1 year of loading ».

2.2.2. Études cliniques démontrant qu'un couple d'insertion élevé n'entraîne pas d'effet négatif sur le tissu osseux péri-implantaire

Le nombre d'études soutenant l'hypothèse qu'un couple d'insertion élevé ne peut nuire à l'ostéointégration de l'implant est plus important. Dix études concluent qu'aucune différence dans la résorption de l'os marginal ou dans le taux de succès implantaire n'a été observée. Ces conclusions sont appuyées par 2 méta-analyses^{143 144}.

Walker et al.¹⁴⁵ réalisent une étude clinique rétrospective afin d'évaluer la relation entre les valeurs de couple d'insertion, les temps de cicatrisation et les taux de survie implantaire. Cent soixante-quatorze implants sont insérés au niveau mandibulaire chez 172 patients avec un suivi sur 3 ans en moyenne (tableau 11).

Tableau 11 : Répartition des implants en fonction du couple d'insertion et du taux de survie respectif

Proportion de couple d'insertion	Taux de survie
Couple <15 Ncm (49= 29%)	86% (dont 33% de temps additionnel de cicatrisation)
Couple à 15 ou 30 Ncm (39=23%)	90% (dont 21% de temps additionnel de cicatrisation)
Couple à 30, 50 Ncm ou plus (81=48%)	96% (dont 5% de temps additionnel de cicatrisation)

Source : Walker et coll. Implant insertional torque values predict outcomes, 2011.

Les implants insérés avec un couple élevé (≥ 30 Ncm) étaient six fois moins susceptibles de nécessiter un temps de cicatrisation plus long.

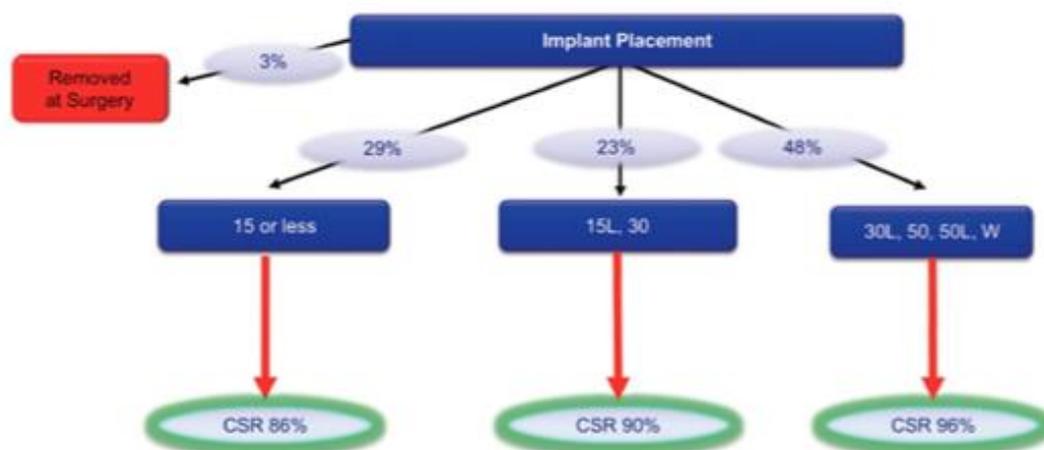
Un couple d'insertion de 30 Ncm semble être une valeur seuil minimale pour des résultats acceptables et augmenter le couple d'insertion au-delà de cette valeur ne semble pas nuire à l'ostéointégration de l'implant. Les données ne montrent pas d'augmentation significative du taux de survie implantaire (CRS : cumulative survival rates) ni de temps de cicatrisation raccourcis pour les couples d'insertion supérieurs à 30 Ncm (figure 9).

¹⁴³ Berardini et al., « The effects of high insertion torque versus low insertion torque on marginal bone resorption and implant failure rates : a systematic review with meta-analyses ».

¹⁴⁴ Li, Liang, et Zheng, « Meta-analysis of correlations between marginal bone resorption and high insertion torque of dental implants ».

¹⁴⁵ Walker, Morris, et Novotny, « Implant insertional torque values predict outcomes ».

Figure 9 : Schéma du taux de survie en rapport avec le couple d'insertion



Source : Walker, Morris, et Novotny, « Implant insertional torque values predict outcomes », 2011.

Otoni et al.¹⁴⁶ étudient également la corrélation entre le couple d'insertion et le taux de survie d'implants unitaires. Dans cette étude clinique, 46 implants sont placés chez 23 patients avec 2 implants par patient à la mandibule ou au maxillaire avec un suivi d'un an. Les implants sont séparés en 2 groupes : l'un avec une mise en fonction immédiate (groupe expérimental) et l'autre avec une mise en fonction après un temps de cicatrisation qui n'est pas précisé (groupe contrôle). Les implants sont insérés avec un couple d'insertion de 20, 32 ou 45 Ncm sans préciser le groupe contrôle. Dans cette étude, les auteurs obtiennent un taux d'échec implantaire plus important pour les implants insérés à de faibles couples dans le groupe expérimental, avec un total de 10 échecs implantaires dont 9 pour les implants insérés à 20 Ncm (tableau 12).

Tableau 12 : Répartition des implants selon leur couple d'insertion, leur succès et leur échec

Variable	Survival		Failure	
	n	%	n	%
Insertion torque (Ncm)				
20	1	7.7	9	90.0
32	9	69.2	1	10.0
45	3	23.1	—	—
Total	13	100.0	10	100.0

Source : Otoni et al., « Correlation between placement torque and survival of single-tooth implants », 2005

¹⁴⁶ Otoni et al., « Correlation between placement torque and survival of single-tooth implants ».

Ils constatent que le taux de survie est indépendant de la longueur de l'implant, du site, de la qualité et de la quantité de l'os. En revanche le risque d'échec implantaire est associé au couple d'insertion dans le groupe expérimental, mais n'est pas significatif pour le groupe témoin. Ils concluent qu'un couple d'insertion supérieur à 32 Ncm est nécessaire pour un implant mis en charge immédiatement et que le risque d'échec diminue de 20% par 9,8 Ncm ajouté.

Cependant il convient de préciser que la répartition des couples d'insertion n'est pas précisée pour le groupe témoin diminuant le niveau de preuve de cette étude.

Dans une étude clinique randomisée en split-mouth c'est à dire qu'un implant contrôle et un implant test sont insérés dans la bouche d'un même patient évitant les biais liés aux patients, les auteurs valident les conclusions précédentes.¹⁴⁷

Cent implants mis en charge immédiatement ont été insérés chez 50 patients avec un couple supérieur à 80 Ncm et un couple compris entre 25 et 35 Ncm. Parmi les 100 implants mis en charge immédiatement, il n'y a eu que 7 échecs implantaires, tous dans le groupe témoin (couple d'insertion compris entre 20 et 35 Ncm).

A 6 mois, ils n'observent aucune différence significative entre les 2 groupes en ce qui concerne la résorption de l'os marginal. Ils ajoutent que dans le cas d'implants unitaires mis en charge immédiatement, il est préférable d'insérer les implants avec un couple d'insertion élevé (>80 Ncm), tout du moins supérieur à 35 Ncm, afin de minimiser les échecs précoces. Les auteurs recommandent tout de même d'être prudent car lorsqu'on applique un couple excessif aux implants, les composants peuvent se déformer, ce qui rend difficile voire impossible les phases prothétiques ultérieures.

Rizkallah et al.¹⁴⁸ sont en accord avec les 2 études précédentes. Ils évaluent la corrélation entre le couple d'insertion et le taux de survie pour des implants mis en charge immédiatement uniquement au maxillaire. Dans cette étude clinique rétrospective, 390 implants sont insérés avec un couple moyen de 72,1 Ncm (intervalle compris entre 20 et 150 Ncm) avec un suivi de 15 mois. Le taux d'échec est de 2,3% et les auteurs n'observent pas de corrélation entre le couple d'insertion et l'échec implantaire au-dessus du seuil de 35 Ncm.

¹⁴⁷ Cannizzaro et al., « Immediate versus early loading of 6.5 mm-long flapless-placed single implants : a 4-year after loading report of a split-mouth randomised controlled trial ».

¹⁴⁸ Rizkallah, Fischer, et Kraut, « Correlation between insertion torque and survival rates in immediately loaded implants in the maxilla: a retrospective study ».

Desantis et al.¹⁴⁹ réalisent une étude prospective multi-centrique sur 3 ans afin d'évaluer la relation entre le couple d'insertion, la stabilité primaire et la perte osseuse crestale implantaire. Dans 3 centres différents, 3 chirurgiens placent un total de 144 implants avec un couple moyen de 76,1 Ncm chez 62 patients (tableau 13).

Tableau 13 : Répartition des implants en fonction de leur couple d'insertion

Torque range (Ncm)	No. of implants (n = 144)	%
< 35	0	0.0
35-49	13	9.0
50-74	49	34.0
75-99	57	39.6
> 100	25	17.4

Source : De Santis et al., « Relationship between primary stability and crestal bone loss of implants placed with high insertion torque », 2016.

On observe un faible remodelage osseux cervical autour des implants à 3 ans. La grande majorité des implants (78,0%) présentaient moins de 1 mm de perte d'os crestal et seulement 10% présentaient une résorption entre 1.55 et 2.5 mm. Ils affirment qu'aucun effet négatif provenant d'un couple élevé d'insertion (> 50 Ncm) n'a été observé. De plus, aucune corrélation significative entre l'ISQ à la réouverture (à 3-4 mois de cicatrisation) et le couple d'insertion n'a été observée, indiquant que ce dernier n'a aucune influence sur l'ostéointégration ou sur une éventuelle nécrose par pression.

En revanche, comme dans l'étude de Cannizaro et al., les auteurs recommandent d'être prudent lors de l'utilisation de couples supérieurs à 70 Ncm, car il y a un risque potentiel de fracture de l'implant.

Dans une étude clinique comparative¹⁵⁰ sur l'effet du couple d'insertion sur le niveau de l'os crestal, 64 implants ont été insérés avec un couple élevé (45 à 70 Ncm) et 72 implants ont été placés avec un couple standard (20 à 30 Ncm). La résorption osseuse moyenne autour des implants placés avec des couples d'insertion élevés et faibles était respectivement de 0.33 et 0.4 mm sans différence significative. Les couples d'insertion élevés (jusqu'à 70 Ncm) n'ont donc pas augmenté significativement la résorption osseuse autour des implants.

¹⁴⁹ De Santis et al., « Relationship between primary stability and crestal bone loss of implants placed with high insertion torque : a 3-year prospective study ».

¹⁵⁰ Bidgoli et al., « High insertion torque and peri-implant bone loss : is there a relationship ? »

Khayat et al.¹⁵¹ dans une étude prospective non randomisée, évaluent sur 1 an les niveaux osseux marginaux implantaire. Parmi les 51 implants, 42 ont été insérés à des couples supérieurs à 70 Ncm avec un couple moyen de 110.6 Ncm et 11 implants ont été insérés à des couples compris entre 30 et 50 Ncm avec un couple moyen de 37.1 Ncm. Aucune différence statistique dans le taux de succès implantaire ou dans le niveau de résorption osseuse marginale n'a été observée après 1 an de suivi.

Dans une autre étude prospective non randomisée ¹⁵², aucune différence significative n'est observée entre les 156 implants insérés au niveau de la résorption de l'os crestal et du taux de succès implantaire qui est de 100% dans les 2 groupes. Ces résultats sont retrouvés dans une autre étude réalisée par les mêmes auteurs¹⁵³ avec un taux de succès de 100% à 1 an pour 35 implants insérés avec un couple compris entre 50 et 80 Ncm mais cette étude n'a pas de groupe contrôle. Les auteurs n'excluent pas en revanche qu'un autre type de géométrie implantaire associé à un couple élevé puisse entraîner des contraintes localisées importantes et potentiellement une nécrose osseuse.

Hof et al.¹⁵⁴, évaluent l'impact du couple d'insertion et de la conception du col de l'implant sur les niveaux osseux péri-implantaires. Cette étude clinique prospective randomisée suit un modèle split-mouth avec 4 implants par patient :

- 2 implants à col usiné avec un implant test inséré à plus de 50 Ncm et un implant contrôle inséré à moins de 20 Ncm.
- 2 implants à col anodisé (plus rugueux) avec un implant test inséré à plus de 50 Ncm et un implant contrôle inséré à moins de 20 Ncm

Ils évaluent sur 1 an les altérations dynamiques du tissu crestal par des examens radiologiques, cliniques et biochimiques.

Les examens biochimiques sont réalisés via une analyse du fluide crévulaire péri-implantaire (PICF) qui permet de mieux comprendre les mécanismes physiopathologiques dynamiques autour des implants dentaires. Des niveaux accrus de cytokines inflammatoires dans les PICF, tels que l'interleukine-1b, peuvent refléter des stades actifs d'altération tissulaire et peuvent donc être utilisés comme marqueur diagnostique et pronostic de la destruction tissulaire péri-implantaire.

¹⁵¹ Khayat et al., « Clinical outcome of dental implants placed with high insertion torques (up to 176 ncm) ».

¹⁵² Grandi et al., « Clinical outcome and bone healing of implants placed with high insertion torque: 12-month results from a multicenter controlled cohort study ».

¹⁵³ Grandi et al., « Immediate loading of single post-extractive implants in the anterior maxilla: 12-month results from a multicenter clinical study ».

¹⁵⁴ Hof et al., « Impact of insertion torque and implant neck design on peri-implant bone level : a randomized split-mouth trial ».

En 1 an, aucune différence cliniquement significative dans la résorption osseuse marginale n'a pu être observée permettant de conclure que le couple d'insertion et l'état de surface du col implantaire n'ont pas d'influence sur la résorption osseuse marginale au niveau mandibulaire.

Auteurs	Type d'étude	Nombre d'implants	Couple d'insertion du groupe test	Couple d'insertion du groupe contrôle	Suivi	Résultats									
Walker et al. ¹⁵⁵	Étude clinique rétrospective	174	(81 implants) 30, 50 Ncm ou plus	(39 implants) 15 ou 30 Ncm	(49 implants) < 15 Ncm	3 ans	<ul style="list-style-type: none"> - Les temps de cicatrisation ont jusqu'à 6 fois plus de risque d'augmenter pour les couples <15 Ncm. - 30 Ncm semble être une valeur idéale. Au-delà, les données ne montrent pas d'augmentation des CRS (cumulative survival rates) ou de temps de cicatrisation raccourcis. <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Taux de survie</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Faible couple d'insertion</td> <td>86%</td> </tr> <tr> <td>Couple d'insertion intermédiaire</td> <td>90%</td> </tr> <tr> <td>Haut couple d'insertion</td> <td>96%</td> </tr> </tbody> </table>		Taux de survie	Faible couple d'insertion	86%	Couple d'insertion intermédiaire	90%	Haut couple d'insertion	96%
	Taux de survie														
Faible couple d'insertion	86%														
Couple d'insertion intermédiaire	90%														
Haut couple d'insertion	96%														
Otoni et al. ¹⁵⁶	Étude clinique prospective	46	Mise en charge immédiate >20 Ncm	Délai de cicatrisation avant mise en charge >20 Ncm	6 mois à 2 ans	<ul style="list-style-type: none"> - Un couple d'insertion supérieur à 32 Ncm est nécessaire pour un implant avec mise en charge immédiate. - Taux de survie pour groupe test de 46,52% (pas précisé pour groupe témoin). - Le risque d'échec diminue de 20% par 9,8 Ncm ajouté. 									

¹⁵⁵ Walker, Morris, et Novotny, « Implant insertional torque values predict outcomes ».

¹⁵⁶ Otoni et al., « Correlation between placement torque and survival of single-tooth implants ».

Auteurs	Type d'étude	Nombre d'implants	Couple d'insertion du groupe test	Couple d'insertion du groupe contrôle	Suivi	Résultats			
Cannizzaro et al. ¹⁵⁷	Étude clinique contrôlée, randomisée	100	(50 implants) >80 Ncm	(50 implants) 25-35 Ncm	6 mois	<ul style="list-style-type: none"> - Il est préférable d'utiliser un couple d'insertion élevé (>80 N.cm) tout du moins >35N.cm lors d'une mise en charge immédiate. - Pas de différence significative entre les 2 groupes. 			
							Résorption de l'os crestal (J0)	Résorption de l'os crestal (1a)	Taux de survie (1a)
						Groupe test	0,02 mm	0,24 mm	100%
Groupe contrôle	0,05 mm	0,33 mm	86%						

¹⁵⁷ Cannizzaro et al., « Immediate versus early loading of 6.5 mm-long flapless-placed single implants : a 4-year after loading report of a split-mouth randomised controlled trial ».

Auteurs	Type d'étude	Nombre d'implants	Couple d'insertion du groupe test	Couple d'insertion du groupe contrôle	Suivi	Résultats						
De Santis et al. ¹⁵⁸	Étude clinique prospective multicentrique	144	Couples > 35 Ncm avec un couple moyen de 76,1 Ncm ± 20.8 Ncm		3 ans	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de corrélation entre couple d'insertion et résorption de l'os crestal. - Aucun effet négatif provenant du couple d'insertion élevé (>50 Ncm) n'a été prouvé. <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Résorption moyenne de l'os crestal (3a)</th> <th>Taux de survie (3a)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Implants</td> <td>0,7 mm</td> <td>98,6%</td> </tr> </tbody> </table>		Résorption moyenne de l'os crestal (3a)	Taux de survie (3a)	Implants	0,7 mm	98,6%
	Résorption moyenne de l'os crestal (3a)	Taux de survie (3a)										
Implants	0,7 mm	98,6%										
Bidgoli et al. ¹⁵⁹	Étude clinique de cohorte rétrospective	136	(64 implants) 45-70 Ncm	(72 implants) 20-30 Ncm	1 an	<ul style="list-style-type: none"> - Résorption osseuse marginal : pas de différence significative. - Les couples d'insertion élevés (jusqu'à 70 Ncm) n'augmente pas la résorption osseuse péri-implantaire. <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Résorption de l'os crestal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Groupe test</td> <td>0,33 mm</td> </tr> <tr> <td>Groupe contrôle</td> <td>0,4 mm</td> </tr> </tbody> </table>		Résorption de l'os crestal	Groupe test	0,33 mm	Groupe contrôle	0,4 mm
	Résorption de l'os crestal											
Groupe test	0,33 mm											
Groupe contrôle	0,4 mm											

¹⁵⁸ De Santis et al., « Relationship between primary stability and crestal bone loss of implants placed with high insertion torque : a 3-year prospective study ».

¹⁵⁹ Bidgoli et al., « High insertion torque and peri-implant bone loss : is there a relationship ? »

Auteurs	Type d'étude	Nombre d'implants	Couple d'insertion du groupe test	Couple d'insertion du groupe contrôle	Suivi	Résultats			
Hof et al. ¹⁶²	Étude clinique contrôlée, randomisée	84	>50 Ncm	<20 Ncm	1 an	- Pas d'influence du couple d'insertion sur la résorption osseuse marginale.			
						- Aucune différence clinique significative entre les 2 groupes pour la résorption osseuse marginale.			
							Résorption de l'os crestal (1a)	Taux de survie (1a)	
						Groupe test	0,675 mm	97,6%	98,8%
Groupe contrôle	0,66 mm	100%							

¹⁶² Hof et al., « Impact of insertion torque and implant neck design on peri-implant bone level : a randomized split-mouth trial ».

3. Discussion

Sur les 12 études animales et les 15 études cliniques sélectionnées dans cette revue de littérature, la majorité (20 sur 27) établissent que l'utilisation de couples élevés lors de l'insertion implantaire n'a aucun effet délétère sur l'ostéointégration.

En augmentant le couple d'insertion via une sous préparation du site implantaire, on améliore la stabilité primaire de l'implant sans aucune différence histomorphométrique (surface de contact os-implant, fréquence de résonance) significative à moyen et long terme.^{163 164 165 166}

A court terme en revanche, l'utilisation d'un couple d'insertion élevé augmente la surface de contact os-implant et la densité osseuse^{167 168 169}, offrant des conditions favorables au processus d'ostéointégration^{170 171}, mais augmentant aussi les contraintes sur l'os. Celles-ci varient en fonction de la géométrie implantaire^{172 173 174 175} et peuvent être à l'origine d'une zone de nécrose^{176 177 178 179}

¹⁶³ Cohen et al., « Differences in crestal bone-to-implant contact following an under-drilling compared to an over-drilling protocol. a study in the rabbit tibia ».

¹⁶⁴ Campos et al., « Effect of drilling dimension on implant placement torque and early osseointegration stages : an experimental study in dogs ».

¹⁶⁵ Pantani et al., « Influence of lateral pressure to the implant bed on osseointegration : an experimental study in dogs ».

¹⁶⁶ Consolo et al., « Histologic and biomechanical evaluation of the effects of implant insertion torque on peri-implant bone healing ».

¹⁶⁷ Trisi et al., « High versus low implant insertion torque: a histologic, histomorphometric, and biomechanical study in the sheep mandible ».

¹⁶⁸ Duyck et al., « Effect of insertion torque on titanium implant osseointegration : an animal experimental study ».

¹⁶⁹ Eom et al., « Effects of different implant osteotomy preparation sizes on implant stability and bone response in the minipig mandible ».

¹⁷⁰ Szmukler-Moncler et al., « Timing of loading and effect of micromotion on bone-dental implant interface : review of experimental literature ».

¹⁷¹ Brunski et al., « The influence of functional use of endosseous dental implants on the tissue-implant interface. II. clinical aspects ».

¹⁷² Freitas et al., « The effect of implant design on insertion torque and immediate micromotion ».

¹⁷³ Duyck et al., « Histological, histomorphometrical, and radiological evaluation of an experimental implant design with a high insertion torque ».

¹⁷⁴ Jimbo et al., « The impact of a modified cutting flute implant design on osseointegration ».

¹⁷⁵ Grandi et al., « Clinical outcome and bone healing of implants placed with high insertion torque: 12-month results from a multicenter controlled cohort study ».

¹⁷⁶ Cha et al., « Multiscale analyses of the bone-implant interface ».

¹⁷⁷ Consolo et al., « Histologic and biomechanical evaluation of the effects of implant insertion torque on peri-implant bone healing ».

¹⁷⁸ Coelho et al., « Biomechanical evaluation of undersized drilling on implant biomechanical stability at early implantation times ».

¹⁷⁹ Campos et al., « Effect of drilling dimension on implant placement torque and early osseointegration stages : an experimental study in dogs ».

induisant un remodelage osseux.^{180 181 182} D'après une étude multi-échelle réalisée chez la souris, cette zone de nécrose peut doubler lorsqu'on utilise des couples d'insertion très élevés.¹⁸³ Malheureusement, le modèle animal de cette étude ne nous permet pas de donner une valeur seuil.

D'un point de vue purement histologique, ces résultats ne contredisent pas ceux des études citées précédemment. En faisant varier le couple d'insertion, on induit des processus de réparation différents : dans le cas d'un couple d'insertion élevé, il y a moins de formation osseuse et un remodelage plus important de l'os en raison d'une zone de nécrose plus importante, afin de diminuer les contraintes présentes.^{184 185 186} A contrario, l'utilisation d'un faible couple d'insertion diminue la taille de la zone de nécrose. Il y a alors moins de remodelage osseux et une formation osseuse plus rapide¹⁸⁷.

L'hypothèse du couple d'insertion élevé pouvant conduire à un échec de la cicatrisation osseuse revient très souvent¹⁸⁸. Elle est mise en avant dans un « case report » qui suppose que l'échec de l'ostéointégration de ses 4 implants pourrait être lié à l'utilisation d'un couple d'insertion élevé. A ce jour elle n'a toujours pas été vérifiée. Seul est admis que l'augmentation du remodelage osseux induit par un couple d'insertion élevé peut diminuer la stabilité implantaire à moyen terme (4 semaines).¹⁸⁹

¹⁹⁰

Cette idée est remise en question par Trisi et al. dans leur étude réalisée chez le mouton. L'examen histologique a révélé une meilleure apposition osseuse et une meilleure stabilité secondaire lorsqu'on utilise des couples d'insertion élevés. Les auteurs précisent que le remodelage osseux s'effectue à distance de l'implant (entre 0,2 et 1 mm) et qu'il ne perturbe pas sa stabilité car les valeurs de RFA ne diminuent pas.

¹⁸⁰ Barone et al., « The effect of insertion torque on the clinical outcome of single implants : a randomized clinical trial ».

¹⁸¹ Trisi et al., « High versus low implant insertion torque: a histologic, histomorphometric, and biomechanical study in the sheep mandible ».

¹⁸² Cha et al., « Multiscale analyses of the bone-implant interface ».

¹⁸³ Cha et al.

¹⁸⁴ Trisi et al., « Primary stability, insertion torque and bone density of cylindric implant ad modum branemark : is there a relationship ? An in vitro study ».

¹⁸⁵ Cha et al., « Multiscale analyses of the bone-implant interface ».

¹⁸⁶ Duyck et al., « Effect of insertion torque on titanium implant osseointegration : an animal experimental study ».

¹⁸⁷ Eom et al., « Effects of different implant osteotomy preparation sizes on implant stability and bone response in the minipig mandible ».

¹⁸⁸ Degidi et al., « Is insertion torque correlated to bone-implant contact percentage in the early healing period ? A histological and histomorphometrical evaluation of 17 human-retrieved dental implants ».

¹⁸⁹ Duyck et al., « Effect of insertion torque on titanium implant osseointegration : an animal experimental study ».

¹⁹⁰ Coelho et al., « Biomechanical evaluation of undersized drilling on implant biomechanical stability at early implantation times ».

Selon les études, les implants insérés avec un couple d'insertion élevé présentent le même taux de succès que des implants insérés avec un couple d'insertion faible, qu'ils soient mis en charge immédiatement^{191 192} ou non.^{193 194 195 196} Certaines études observent même de meilleurs taux de survie pour les implants insérés avec un couple d'insertion élevé.^{197 198}

La nécessité d'obtenir des valeurs élevées du couple d'insertion avait déjà été suggérée il y a quelques années par Ottoni et al.¹⁹⁹ qui avaient démontré qu'un couple d'insertion faible était corrélé au risque d'échec implantaire dans les protocoles de mise en charge immédiate. Ce risque pouvait être diminué de 20% par 9,8 Ncm supplémentaires. Rizkallah et al.²⁰⁰ précisent même qu'il n'existe aucune corrélation entre le couple d'insertion et l'échec implantaire pour des couples supérieurs à 35 Ncm.

De nombreux auteurs observent des taux de succès et de résorption osseuse comparables si ce n'est meilleurs entre les couples d'insertion faibles et ceux supérieurs à 50 Ncm.^{201 202 203} Certains n'excluent pas cependant que les résultats pourraient être différents avec une autre géométrie implantaire.^{204 205} Ces résultats sont confirmés par deux méta-analyses récentes^{206 207} qui ont évalué les effets des couples d'insertion élevés sur le taux de succès implantaires et les tissus péri-implantaires. Elles n'ont révélé aucune différence statistiquement significative entre les valeurs de couple élevées et conventionnelles en ce qui concerne la perte osseuse péri-implantaire et le taux de succès implantaire.

¹⁹¹ Rizkallah, Fischer, et Kraut, « Correlation between insertion torque and survival rates in immediately loaded implants in the maxilla: a retrospective study ».

¹⁹² Ottoni et al., « Correlation between placement torque and survival of single-tooth implants ».

¹⁹³ De Santis et al., « Relationship between primary stability and crestal bone loss of implants placed with high insertion torque : a 3-year prospective study ».

¹⁹⁴ Grandi et al., « Clinical outcome and bone healing of implants placed with high insertion torque: 12-month results from a multicenter controlled cohort study ».

¹⁹⁵ Hof et al., « Impact of insertion torque and implant neck design on peri-implant bone level : a randomized split-mouth trial ».

¹⁹⁶ Khayat et al., « Clinical outcome of dental implants placed with high insertion torques (up to 176 ncm) ».

¹⁹⁷ Walker, Morris, et Novotny, « Implant insertional torque values predict outcomes ».

¹⁹⁸ Cannizzaro et al., « Immediate versus early loading of 6.5 mm-long flapless-placed single implants : a 4-year after loading report of a split-mouth randomised controlled trial ».

¹⁹⁹ Ottoni et al., « Correlation between placement torque and survival of single-tooth implants ».

²⁰⁰ Rizkallah, Fischer, et Kraut, « Correlation between insertion torque and survival rates in immediately loaded implants in the maxilla: a retrospective study ».

²⁰¹ De Santis et al., « Relationship between primary stability and crestal bone loss of implants placed with high insertion torque : a 3-year prospective study ».

²⁰² Hof et al., « Impact of insertion torque and implant neck design on peri-implant bone level : a randomized split-mouth trial ».

²⁰³ Khayat et al., « Clinical outcome of dental implants placed with high insertion torques (up to 176 ncm) ».

²⁰⁴ Grandi et al., « Clinical outcome and bone healing of implants placed with high insertion torque: 12-month results from a multicenter controlled cohort study ».

²⁰⁵ Freitas et al., « The effect of implant design on insertion torque and immediate micromotion ».

²⁰⁶ Berardini et al., « The effects of high insertion torque versus low insertion torque on marginal bone resorption and implant failure rates : a systematic review with meta-analyses ».

²⁰⁷ Li, Liang, et Zheng, « Meta-analysis of correlations between marginal bone resorption and high insertion torque of dental implants ».

Deux études récentes semblent cependant démontrer le contraire en obtenant une récession des tissus mous et un remodelage au niveau crestal plus importants surtout si l'épaisseur de la corticale résiduelle est inférieure à 1 mm.^{208 209} Cependant le niveau de preuve de ces 2 études n'est pas très élevé, l'une étant rétrospective et l'autre comparant des groupes test et contrôle avec des géométries implantaire différentes.

A ce jour, la valeur de couple minimale permettant d'obtenir un succès clinique, y compris en cas de mise en charge immédiate, ne fait pas l'objet d'un consensus. Dans l'étude de Walker et al.²¹⁰ qui évalue sur 3 ans les effets du couple d'insertion sur le taux de survie implantaire, les auteurs concluent que 30 Ncm semble être la valeur idéale. Ils précisent qu'au-dessus de cette valeur il n'y a aucune différence significative en ce qui concerne le taux de succès implantaire.

Dans le cas de mise en charge immédiate, d'autres auteurs suggèrent que des valeurs de couple d'insertion supérieures à 35 Ncm voire à 80 Ncm sont nécessaires^{211 212} et ne provoquent ni résorption osseuse ni défaillance de l'implant.^{213 214}

Norton et al. ont remis en question l'importance et la valeur prédictive du couple d'insertion après avoir constaté que sur 68 implants placés avec un faible couple d'insertion (<25 Ncm), seuls 3 avaient échoué. Dans une étude ultérieure (2017), ils ont observé que pour des couples d'insertion inférieurs à 20 Ncm, on obtenait non seulement des taux de succès élevés, mais également des niveaux osseux marginaux favorables à court et moyen terme. Cette étude, bien que pertinente, ne comporte pas de groupe contrôle et ne peut opposer ses résultats à ceux qui pourraient être obtenus avec des couples d'insertion élevés.

²⁰⁸ Aldahlawi, Demeter, et Irinakis, « The effect of implant placement torque on crestal bone remodeling after 1 year of loading ».

²⁰⁹ Alfonsi et al., « The clinical effects of insertion torque for implants placed in healed ridges : a two-year randomized controlled clinical trial ».

²¹⁰ Walker, Morris, et Novotny, « Implant insertional torque values predict outcomes ».

²¹¹ Cannizzaro et al., « Immediate versus early loading of 6.5 mm-long flapless-placed single implants : a 4-year after loading report of a split-mouth randomised controlled trial ».

²¹² Rizkallah, Fischer, et Kraut, « Correlation between insertion torque and survival rates in immediately loaded implants in the maxilla: a retrospective study ».

²¹³ Consolo et al., « Histologic and biomechanical evaluation of the effects of implant insertion torque on peri-implant bone healing ».

²¹⁴ Hof et al., « Impact of insertion torque and implant neck design on peri-implant bone level : a randomized split-mouth trial ».

Conclusion

L'utilisation de couples d'insertion élevés, supérieurs à 35 Ncm, reste à ce jour la solution la plus simple pour obtenir une stabilité primaire optimale notamment dans le cas d'une densité osseuse faible.

Une grande majorité des auteurs s'accordent à dire qu'il n'y a aucune différence significative en termes d'échec implantaire et de résorption osseuse cervicale entre un couple d'insertion élevé et un couple d'insertion faible.

La cicatrisation serait plus rapide avec un couple d'insertion faible cependant le chirurgien prend le risque d'avoir une mobilité implantaire qui peut faire échouer le projet. Au contraire, même si l'utilisation d'un couple d'insertion élevé demande un temps de cicatrisation plus long et comprend un processus de remodelage, le risque d'une mobilité implantaire susceptible de perturber l'ostéointégration est nettement plus faible.

Il reste à ce jour un paramètre qui pourrait répondre aux problèmes de contrainte osseuse et de stabilité primaire : la géométrie implantaire. Une stabilité primaire élevée peut être associée à des couples d'insertion faibles lorsque la géométrie implantaire permet une meilleure pénétration du site ou une meilleure répartition des contraintes. Les recherches doivent encore être approfondies dans ce domaine.

Bibliographie

Académie nationale de médecine. « Hunsfield (unité) ». In *Dictionnaire médical de l'académie de médecine*. Consulté le 29 janvier 2019. <http://dictionnaire.academie-medecine.fr/index.php?q=Hounsfield%20%28unit%C3%A9%29>.

Adell, R., U. Lekholm, B. Rockler, et P. I. Brånemark. « A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw ». *International journal of oral surgery* 10, n° 6 (1981): 387-416.

Aldahlawi, S., A. Demeter, et T. Irinakis. « The effect of implant placement torque on crestal bone remodeling after 1 year of loading ». *Clinical, cosmetic and investigational dentistry* 10 (2018): 203-9. <https://doi.org/10.2147/CCIDE.S174895>.

Alfonsi, F., V. Borgia, L. Barbato, P. Tonelli, E. Giammarinaro, S. Marconcini, S. Romeggio, et A. Barone. « The clinical effects of insertion torque for implants placed in healed ridges : a two-year randomized controlled clinical trial ». *Journal of oral science and rehabilitation* 2, n° 4 (2016): 62-73.

Alghamdi, H., P. S. Anand, et S. Anil. « Undersized implant site preparation to enhance primary implant stability in poor bone density: a prospective clinical study ». *Journal of oral and maxillofacial surgery* 69, n° 12 (2011): e506-512. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2011.08.007>.

Alsaadi, G., M. Quirynen, K. Michiels, R. Jacobs, et D. Van Steenberghe. « A biomechanical assessment of the relation between the oral implant stability at insertion and subjective bone quality assessment ». *Journal of clinical periodontology* 34, n° 4 (2007): 359-66. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2007.01047.x>.

Barone, A., F. Alfonsi, G. Derchi, P. Tonelli, P. Toti, S. Marchionni, et U. Covani. « The effect of insertion torque on the clinical outcome of single implants : a randomized clinical trial ». *Clinical implant dentistry and related research* 18, n° 3 (2016): 588-600. <https://doi.org/10.1111/cid.12337>.

Barone, A., U. Covani, R. Cornelini, et E. Gherlone. « Radiographic bone density around immediately loaded oral implants ». *Clinical oral implants research* 14, n° 5 (octobre 2003): 610-15.

Bashutski, J., N. D'Silva, et H.L. Wang. « Implant compression necrosis : current understanding and case report ». *Journal of periodontology* 80, n° 4 (2009): 700-704.

<https://doi.org/10.1902/jop.2009.080581>.

Benic, G., J. Mir-Mari, et C. Hämmerle. « Loading protocols for single-implant crowns : a systematic review and meta-analysis ». *The international journal of oral & maxillofacial implants* 29 Suppl (2014): 222-38. <https://doi.org/10.11607/jomi.2014suppl.g4.1>.

Berardini, M., P. Trisi, B. Sinjari, A. Rutjes, et S. Caputi. « The effects of high insertion torque versus low insertion torque on marginal bone resorption and implant failure rates : a systematic review with meta-analyses ». *Implant dentistry* 25, n° 4 (2016): 532-40. <https://doi.org/10.1097/ID.0000000000000422>.

Bidgoli, M., S. Soheilifar, J. Faradmal, et S. Soheilifar. « High insertion torque and peri-implant bone loss : is there a relationship ? ». *Journal of long-term effects of medical implants* 25, n° 3 (2015): 209-13.

Brånemark, P-I. « Osseointegration and its experimental background ». *The journal of prosthetic dentistry* 50, n° 3 (1983): 399-410.

———. *The osseointegration book : from calvarium to calcaneus*. Berlin : Quintessence Verlags-GmbH, 2005.

Brunski, J. B., A. F. Moccia, S. R. Pollack, E. Korostoff, et D. I. Trachtenberg. « The influence of functional use of endosseous dental implants on the tissue-implant interface. II. clinical aspects ». *Journal of dental research* 58, n° 10 (1979): 1970-80. <https://doi.org/10.1177/00220345790580100301>.

Büchter, A., J. Kleinheinz, H. P. Wiesmann, J. Kersken, M. Nienkemper, H. V. Weyhrother, U. Joos, et U. Meyer. « Biological and biomechanical evaluation of bone remodeling and implant stability after using an osteotome technique ». *Clinical oral implants research* 16, n° 1 (2005): 1-8. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2004.01081.x>.

Campos, F. E., J. B. Gomes, C. Marin, H. S. Teixeira, M. Suzuki, L. Witek, D. Zanetta-Barbosa, et P. G. Coelho. « Effect of drilling dimension on implant placement torque and early osseointegration stages : an experimental study in dogs ». *Journal of oral and maxillofacial surgery* 70, n° 1 (2012): e43-50. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2011.08.006>.

Cannizzaro, G., P. Felice, M. Leone, P. Ferri, P. Viola, et M. Esposito. « Immediate versus early loading of 6.5 mm-long flapless-placed single implants : a 4-year after loading report of a split-mouth randomised controlled trial ». *European journal of oral implantology* 5, n° 2 (2012): 111-21.

Cha, J. Y., M. D. Pereira, A. A. Smith, K. S. Houschyar, X. Yin, S. Mouraret, J. B. Brunski, et J. A. Helms. « Multiscale analyses of the bone-implant interface ». *Journal of dental research* 94, n° 3 (2015): 482-90. <https://doi.org/10.1177/0022034514566029>.

Chrcanovic, B. R., T. Albrektsson, et A. Wennerberg. « Bone quality and quantity and dental implant failure : a systematic review and meta-analysis ». *The international journal of prosthodontics* 30, n° 3 (2017): 219-237. <https://doi.org/10.11607/ijp.5142>.

Coelho, P. G., C. Marin, H. S. Teixeira, F. E. Campos, J. B. Gomes, F. Guastaldi, R. B. Anchieta, et al. « Biomechanical evaluation of undersized drilling on implant biomechanical stability at early implantation times ». *Journal of oral and maxillofacial surgery* 71, n° 2 (2013): 69-75. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2012.10.008>.

Cohen, O., Z. Ormianer, H. Tal, D. Rothamel, M. Weinreb, et O. Moses. « Differences in crestal bone-to-implant contact following an under-drilling compared to an over-drilling protocol. a study in the rabbit tibia ». *Clinical oral investigations* 20, n° 9 (2016): 2475-80. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1765-8>.

Consolo, U., D. Travaglini, M. Todisco, P. Trisi, et S. Galli. « Histologic and biomechanical evaluation of the effects of implant insertion torque on peri-implant bone healing ». *The journal of craniofacial surgery* 24, n° 3 (2013): 860-65. <https://doi.org/10.1097/SCS.0b013e31827ca3cf>.

Cooper, L. F. « Factors influencing primary dental implant stability remain unclear ». *The journal of evidence-based dental practice* 12, n° 3 Suppl (2012): 185-86. [https://doi.org/10.1016/S1532-3382\(12\)70033-7](https://doi.org/10.1016/S1532-3382(12)70033-7).

Davarpanah, M., S. Szmukler-Moncler, et P. Rajzbaum. *Manuel d'implantologie clinique : concepts, intégration des protocoles et esquisses de nouveaux paradigmes*. 3e éd. Rueil-Malmaison : Editions CdP, 2012.

Davies, J. E. « Understanding peri-implant endosseous healing ». *Journal of dental education* 67, n° 8 (2003): 932-49.

De Santis, D., A. Cucchi, G. Rigoni, C. Longhi, et P. F. Nocini. « Relationship between primary stability and crestal bone loss of implants placed with high insertion torque : a 3-year prospective study ». *The international journal of oral & maxillofacial implants* 31, n° 5 (2016): 1126-34. <https://doi.org/10.11607/jomi.4594>.

Degidi, M., G. Daprile, et A. Piattelli. « Implants inserted with low insertion torque values for intraoral welded full-arch prosthesis : 1-year follow-up ». *Clinical implant dentistry and related research* 14 Suppl 1 (2012): 39-45. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8208.2011.00345.x>.

Degidi, M., V. Perrotti, R. Strocchi, A. Piattelli, et G. Iezzi. « Is insertion torque correlated to bone-implant contact percentage in the early healing period ? A histological and histomorphometrical evaluation of 17 human-retrieved dental implants ». *Clinical oral implants research* 20, n° 8 (2009): 778-81. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2008.01599.x>.

Dhore, C. R., S. J. Snel, S. V. N. Jacques, I. E. Naert, X. F. Walboomers, et J. A. Jansen. « In vitro osteogenic potential of bone debris resulting from placement of titanium screw-type implants ». *Clinical oral implants research* 19, n° 6 (2008): 606-11. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2007.01519.x>.

Dos Santos, M. V., C. N. Elias, et J. H. Cavalcanti Lima. « The effects of superficial roughness and design on the primary stability of dental implants ». *Clinical implant dentistry and related research* 13, n° 3 (2011): 215-23. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8208.2009.00202.x>.

Duyck, J., L. Corpas, S. Vermeiren, T. Ogawa, M. Quirynen, K. Vandamme, R. Jacobs, et I. Naert. « Histological, histomorphometrical, and radiological evaluation of an experimental implant design with a high insertion torque ». *Clinical oral implants research* 21, n° 8 (2010): 877-84. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2010.01895.x>.

Duyck, J., R. Roesems, M. V. Cardoso, T. Ogawa, G. De Villa Camargos, et K. Vandamme. « Effect of insertion torque on titanium implant osseointegration : an animal experimental study ». *Clinical oral implants research* 26, n° 2 (2015): 191-96. <https://doi.org/10.1111/clr.12316>.

Eom, TG., HW. Kim, GR. Jeon, MJ. Yun, JB. Huh, et CM. Jeong. « Effects of different implant osteotomy preparation sizes on implant stability and bone response in the minipig mandible ». *The international journal of oral & maxillofacial implants* 31, n° 5 (2016): 997-1006. <https://doi.org/10.11607/jomi.4165>.

Fanuscu, M. I., TL. Chang, et K. Akça. « Effect of surgical techniques on primary implant stability and peri-implant bone ». *Journal of oral and maxillofacial surgery* 65, n° 12 (2007): 2487-91. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2007.04.017>.

Franchi, M., M. Fini, D. Martini, E. Orsini, L. Leonardi, A. Ruggeri, G. Giavaresi, et V. Ottani. « Biological fixation of endosseous implants ». *Micron* 36, n° 7-8 (2005): 665-71. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2005.05.010>.

Freitas, A. C., E. A. Bonfante, G. Giro, M. N. Janal, et P. G. Coelho. « The effect of implant design on insertion torque and immediate micromotion ». *Clinical oral implants research* 23, n° 1 (2012): 113-18. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2010.02142.x>.

Friberg, B., A. Ekestubbe, D. Mellström, et L. Sennerby. « Brånemark implants and osteoporosis : a clinical exploratory study ». *Clinical implant dentistry and related research* 3, n° 1 (2001): 50-56.

Grandi, T., G. Garuti, R. Samarani, P. Guazzi, et A. Forabosco. « Immediate loading of single post-extractive implants in the anterior maxilla: 12-month results from a multicenter clinical study ». *The journal of oral implantology* 38 Spec No (2012): 477-84. <https://doi.org/10.1563/AAID-JOI-D-11-00058>.

Grandi, T., P. Guazzi, R. Samarani, et G. Grandi. « Clinical outcome and bone healing of implants placed with high insertion torque : 12-month results from a multicenter controlled cohort study ». *International journal of oral and maxillofacial surgery* 42, n° 4 (2013): 516-20. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2012.10.013>.

Greenstein, G., et J. Cavallaro. « Implant insertion torque : its role in achieving primary stability of restorable dental implants ». *Compendium of continuing education in dentistry* 38, n° 2 (2017): 88-95; quiz 96.

Halldin, A., R. Jimbo, C. B. Johansson, A. Wennerberg, M. Jacobsson, T. Albrektsson, et S. Hansson. « The effect of static bone strain on implant stability and bone remodeling ». *Bone* 49, n° 4 (2011): 783-89. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2011.07.003>.

Hämmerle, C. H. F., et D. van Steenberghe. « The first eao consensus conference 16-19 february 2006, pfäffikon, switzerland ». *Clinical oral implants research* 17 Suppl 2 (2006): 1. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2006.01364.x>.

Hof, M., B. Pommer, G. D. Strbac, C. Vasak, H. Agis, et W. Zechner. « Impact of insertion torque and implant neck design on peri-implant bone level : a randomized split-mouth trial ». *Clinical implant dentistry and related research* 16, n° 5 (2014): 668-74. <https://doi.org/10.1111/cid.12042>.

Irinakis, T., et C. Wiebe. « Initial torque stability of a new bone condensing dental implant. a cohort study of 140 consecutively placed implants ». *The journal of oral implantology* 35, n° 6 (2009): 277-82. <https://doi.org/10.1563/AAID-JOI-D-09-00020.1>.

Isidor, F. « Influence of forces on peri-implant bone ». *Clinical oral implants research* 17 Suppl 2 (2006): 8-18. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2006.01360.x>.

Ivanoff, C. J., L. Sennerby, et U. Lekholm. « Influence of initial implant mobility on the integration of titanium implants. An experimental study in rabbits ». *Clinical oral implants research* 7, n° 2 (1996): 120-27.

Jaffin, R. A., et C. L. Berman. « The excessive loss of Branemark fixtures in type IV bone : a 5-Year Analysis ». *Journal of Periodontology* 62, n° 1 (1991): 2-4.
<https://doi.org/10.1902/jop.1991.62.1.2>.

Javed, F., K. Almas, R. Crespi, et G. E. Romanos. « Implant surface morphology and primary stability : is there a connection ? » *Implant dentistry* 20, n° 1 (2011): 40-46.
<https://doi.org/10.1097/ID.0b013e31820867da>.

Javed, F., et G. E. Romanos. « The role of primary stability for successful immediate loading of dental implants. A literature review ». *Journal of dentistry* 38, n° 8 (2010): 612-20.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.05.013>.

Jimbo, R., N. Tovar, C. Marin, H. S. Teixeira, R. B. Anchieta, L. M. Silveira, M. N. Janal, et al. « The impact of a modified cutting flute implant design on osseointegration ». *International journal of oral and maxillofacial surgery* 43, n° 7 (2014): 883-88. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2014.01.016>.

Khayat, P. G., H. M. Arnal, B. I. Tourbah, et L. Sennerby. « Clinical outcome of dental implants placed with high insertion torques (up to 176 ncm) ». *Clinical implant dentistry and related research* 15, n° 2 (2013): 227-33. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8208.2011.00351.x>.

Lazzara, R., A. A. Siddiqui, P. Binon, S. A. Feldman, R. Weiner, R. Phillips, et A. Gonshor. « Retrospective multicenter analysis of 3i endosseous dental implants placed over a five-year period ». *Clinical oral implants research* 7, n° 1 (1996): 73-83.

Li, H., Y. Liang, et Q. Zheng. « Meta-analysis of correlations between marginal bone resorption and high insertion torque of dental implants ». *The international journal of oral & maxillofacial implants* 30, n° 4 (2015): 767-72. <https://doi.org/10.11607/jomi.3884>.

Lindh, T., J. Gunne, A. Tillberg, et M. Molin. « A meta-analysis of implants in partial edentulism ». *Clinical oral implants research* 9, n° 2 (1998): 80-90.

Makary, C., A. Rebaudi, N. Mokbel, et N. Naaman. « Peak insertion torque correlated to histologically and clinically evaluated bone density ». *Implant dentistry* 20, n° 3 (2011): 182-91. <https://doi.org/10.1097/ID.0b013e31821662b9>.

Marconcini, S., E. Giammarinaro, P. Toti, F. Alfonsi, U. Covani, et A. Barone. « Longitudinal analysis on the effect of insertion torque on delayed single implants : a 3-year randomized clinical study ». *Clinical implant dentistry and related research* 20, n° 3 (2018): 322-32.
<https://doi.org/10.1111/cid.12586>.

Mistry, G., O. Shetty, S. Shetty, et R. D. Singh. « Measuring implant stability : a review of different methods ». *Journal of dental implants* 4, n° 2 (2014): 165. <https://doi.org/10.4103/0974-6781.140891>.

Muddugangadhar, B. C., G. S. Amarnath, R. Sonika, P. S. Chheda, et A. Garg. « Meta-analysis of failure and survival rate of implant-supported single crowns, fixed partial denture, and implant tooth-supported prostheses ». *Journal of international oral health* 7, n° 9 (2015): 11-17.

Nedir, R., M. Bischof, S. Szmukler-Moncler, J. P. Bernard, et J. Samson. « Predicting osseointegration by means of implant primary stability ». *Clinical oral implants research* 15, n° 5 (2004): 520-28. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2004.01059.x>.

Nkenke, E., F. Kloss, J. Wiltfang, S. Schultze-Mosgau, M. Radespiel-Tröger, K. Loos, et F. W. Neukam. « Histomorphometric and fluorescence microscopic analysis of bone remodelling after installation of implants using an osteotome technique ». *Clinical oral implants research* 13, n° 6 (2002): 595-602.

Norton, M. R. « The influence of insertion torque on the survival of immediately placed and restored single-tooth implants ». *The international journal of oral & maxillofacial implants* 26, n° 6 (2011): 1333-43.

Norton, M. R. « The influence of low insertion torque on primary stability, implant survival, and maintenance of marginal bone levels : a closed-cohort prospective study ». *The international journal of oral & maxillofacial implants* 32, n° 4 (2017): 849-57. <https://doi.org/10.11607/jomi.5889>.

Norton, M. R., et C. Gamble. « Bone classification : an objective scale of bone density using the computerized tomography scan ». *Clinical oral implants research* 12, n° 1 (2001): 79-84.

Okuyama, K., E. Abe, T. Suzuki, Y. Tamura, M. Chiba, et K. Sato. « Can insertional torque predict screw loosening and related failures ? An in vivo study of pedicle screw fixation augmenting posterior lumbar interbody fusion ». *Spine* 25, n° 7 (2000): 858-64.

O'Sullivan, D., L. Sennerby, et N. Meredith. « Measurements comparing the initial stability of five designs of dental implants : a human cadaver study ». *Clinical implant dentistry and related research* 2, n° 2 (2000): 85-92.

Otoni, J. M. P., Z. F. Oliveira, R. Mansini, et A. M. Cabral. « Correlation between placement torque and survival of single-tooth implants ». *The international journal of oral & maxillofacial implants* 20, n° 5 (2005): 769-76.

Pantani, F., D. Botticelli, I. R. Garcia, L. A. Salata, G. J. Borges, et N. P. Lang. « Influence of lateral pressure to the implant bed on osseointegration : an experimental study in dogs ». *Clinical oral implants research* 21, n° 11 (2010): 1264-70. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2010.01941.x>.

Perren, S. M. « Evolution of the internal fixation of long bone fractures. the scientific basis of biological internal fixation : choosing a new balance between stability and biology ». *The journal of bone and joint surgery. british volume* 84, n° 8 (2002): 1093-1110.

Rabel, A., S. G. Köhler, et A. Schmidt-Westhausen. « Clinical study on the primary stability of two dental implant systems with resonance frequency analysis ». *Clinical oral investigations* 11, n° 3 (2007): 257-65. <https://doi.org/10.1007/s00784-007-0115-2>.

Rea, M., D. Botticelli, S. Ricci, C. Soldini, G. G. González, et N. P. Lang. « Influence of immediate loading on healing of implants installed with different insertion torques--an experimental study in dogs ». *Clinical oral implants research* 26, n° 1 (2015): 90-95. <https://doi.org/10.1111/clr.12305>.

Rizkallah, N., S. Fischer, et R. A. Kraut. « Correlation between insertion torque and survival rates in immediately loaded implants in the maxilla: a retrospective study ». *Implant dentistry* 22, n° 3 (2013): 250-54. <https://doi.org/10.1097/ID.0b013e3182938cf1>.

Rubin, C. T., D. W. Sommerfeldt, S. Judex, et Y.-X. Qin. « Inhibition of osteopenia by low magnitude, high-frequency mechanical stimuli ». *Drug discovery today* 6, n° 16 (2001): 848-58.

Shalabi, M. M., J. G. C. Wolke, A. J. E. de Ruijter, et J. A. Jansen. « Histological evaluation of oral implants inserted with different surgical techniques into the trabecular bone of goats ». *Clinical oral implants research* 18, n° 4 (2007): 489-95. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2007.01362.x>.

Shi, JY., YX. Gu, LF. Zhuang, et HC. Lai. « Survival of implants using the osteotome technique with or without grafting in the posterior maxilla : a systematic review ». *The international journal of oral & maxillofacial implants* 31, n° 5 (2016): 1077-88.

Sivolella, S., E. Bressan, L. A. Salata, Z. A. Urrutia, N. P. Lang, et D. Botticelli. « Osteogenesis at implants without primary bone contact. An experimental study in dogs ». *Clinical oral implants research* 23, n° 5 (2012): 542-49. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02423.x>.

Søballe, K., H. Brockstedt-Rasmussen, E. S. Hansen, et C. Bünger. « Hydroxyapatite coating modifies implant membrane formation. Controlled micromotion studied in dogs ». *Acta orthopaedica scandinavica* 63, n° 2 (1992): 128-40.

Sotto-Maior, B. S., E. P. Rocha, E. O. de Almeida, A. C. Freitas-Júnior, R. B. Anchieta, et A. A. Del Bel Cury. « Influence of high insertion torque on implant placement : an anisotropic bone stress analysis ». *Brazilian dental journal* 21, n° 6 (2010): 508-14.

Stocchero, M., M. Toia, D. Cecchinato, J. P. Becktor, P. G. Coelho, et R. Jimbo. « Biomechanical, biologic, and clinical outcomes of undersized implant surgical preparation : a systematic review ». *The international journal of oral & maxillofacial implants* 31, n° 6 (2016): 1247-63. <https://doi.org/10.11607/jomi.5340>.

Summers, R. B. « A new concept in maxillary implant surgery : the osteotome technique ». *Compendium* 15, n° 2 (1994): 152, 154-56, 158, 162.

Szmukler-Moncler, S., H. Salama, Y. Reingewirtz, et J. H. Dubrulle. « Timing of loading and effect of micromotion on bone-dental implant interface : review of experimental literature ». *Journal of biomedical materials research* 43, n° 2 (1998): 192-203.

Tabassum, A., G. J. Meijer, J. G. C. Wolke, et J. A. Jansen. « Influence of the surgical technique and surface roughness on the primary stability of an implant in artificial bone with a density equivalent to maxillary bone: a laboratory study ». *Clinical oral implants research* 20, n° 4 (2009): 327-32. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2008.01692.x>.

Tabassum, A., X. F. Walboomers, J. G. C. Wolke, G. J. Meijer, et J. A. Jansen. « Bone particles and the undersized surgical technique ». *Journal of dental research* 89, n° 6 (2010): 581-86. <https://doi.org/10.1177/0022034510363263>.

Trisi, P., S. De Benedittis, G. Perfetti, et D. Berardi. « Primary stability, insertion torque and bone density of cylindrical implant ad modum branemark : is there a relationship ? An in vitro study ». *Clinical oral implants research* 22, n° 5 (2011): 567-70. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2010.02036.x>.

Trisi, P., G. Perfetti, E. Baldoni, D. Berardi, M. Colagiovanni, et G. Scogna. « Implant micromotion is related to peak insertion torque and bone density ». *Clinical oral implants research* 20, n° 5 (2009): 467-71. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2008.01679.x>.

Trisi, P., M. Todisco, U. Consolo, et D. Travaglini. « High versus low implant insertion torque : a histologic, histomorphometric, and biomechanical study in the sheep mandible ». *The international journal of oral & maxillofacial implants* 26, n° 4 (2011): 837-49.

Turkyilmaz, I., U. Aksoy, et E. A. McGlumphy. « Two alternative surgical techniques for enhancing primary implant stability in the posterior maxilla : a clinical study including bone density, insertion torque, and resonance frequency analysis data ». *Clinical implant dentistry and related research* 10, n° 4 (2008): 231-37. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8208.2008.00084.x>.

Turkyilmaz, I., L. Sennerby, E. A. McGlumphy, et T. F. Tözüm. « Biomechanical aspects of primary implant stability : a human cadaver study ». *Clinical implant dentistry and related research* 11, n° 2 (2009): 113-19. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8208.2008.00097.x>.

Wagenberg, B., et S. J. Froum. « A retrospective study of 1925 consecutively placed immediate implants from 1988 to 2004 ». *The international journal of oral & maxillofacial implants* 21, n° 1 (2006): 71-80.

Walker, L. R., G. A. Morris, et P. J. Novotny. « Implant insertional torque values predict outcomes ». *Journal of oral and maxillofacial surgery* 69, n° 5 (2011): 1344-49. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2010.11.008>.

Winwood, K., P. Zioupos, J. D. Currey, J. R. Cotton, et M. Taylor. « The importance of the elastic and plastic components of strain in tensile and compressive fatigue of human cortical bone in relation to orthopaedic biomechanics ». *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions* 6, n° 2 (2006): 134-41.

Table des figures

Figure 1 : Schéma histologique du processus d'ostéointégration	5
Figure 2 : Schéma de la diminution progressive de l'ancrage primaire au cours des 6 premières semaines et de l'augmentation progressive de la stabilité biologique obtenue par cicatrisation et remodelage osseux.....	6
Figure 3 : Schéma d'un implant inséré chez une souris dans un site chirurgicalement préparé (à gauche) avec une coupe histologique (à droite). Seules les extrémités des spires de l'implant se retrouvent dans l'os	6
Figure 4 : a. Schématisation des quatre types osseux en fonction de la stabilité primaire de l'implant b. densité de l'os en fonction de sa localisation sur les maxillaires.	10
Figure 5 : Illustration d'une analyse histomorphométrique sur une coupe histologique	21
Figure 6 : Coupes histologiques des réponses des tissus péri-implantaires aux différents couples d'insertion. La zone de nécrose est marquée d'une ligne blanche avec les ostéocytes morts incolores.....	24
Figure 7 : Coupes histologiques, à 1 semaine, de l'interface implant-os pour des sites de forage de différents diamètres	25
Figure 8 : Coupes histologiques, à 3 semaines, de l'interface implant-os pour des sites de forage de différents diamètres.	25
Figure 9 : Schéma du taux de survie en rapport avec le couple d'insertion	49

Table des tableaux

Tableau 1 : Différents couples d'insertion utilisés par les études	18
Tableau 2 : Mesures histologiques des dimensions des tissus durs et mous en millimètres..	26
Tableau 3 : Comparaison des données histomorphométriques et biomécaniques dans les groupes à faible couple d'insertion (LT) et à couple d'insertion élevé (HT)	29
Tableau 4 : Evaluation histologique à 8 et 12 semaines des implants insérés à de faibles couples et à des couples élevés	31
Tableau 5 : Mesures histomorphométriques du BIC (hôte, de novo et total) dans le groupe test (H : high torque) et le groupe témoin (L : low torque)	32
Tableau 6 : Valeurs du couple d'insertion pour les différents diamètres de préparation	33
Tableau 7 : Évaluation histomorphométrique des sites test et contrôle dans les régions prémolaire et molaire	34
Tableau 8 : Valeurs moyennes du couple d'insertion (SD) appliquées aux différents sites d'implantation et aux sites de test et de contrôle	35
Tableau 9 : Taux de succès, récession des tissus mous et résorption de l'os crestal dans le groupe test et le groupe contrôle	42
Tableau 10 : Taux de succès et résorption de l'os crestal dans le groupe test et le groupe contrôle	43
Tableau 11 : Répartition des implants en fonction du couple d'insertion et du taux de survie respectif.....	48
Tableau 12 : Répartition des implants selon leur couple d'insertion, leur succès et leur échec	49
Tableau 13 : Répartition des implants en fonction de leur couple d'insertion	51

Vu, le Directeur de thèse

Vu, le Doyen de la Faculté de Chirurgie
dentaire de l'Université Paris Descartes

Docteur Stéphane MILLIEZ

Professeur Louis MAMAN

Vu, le Président de l'Université Paris
Descartes
Professeur Frédéric DARDEL
Pour le Président et par délégation,

Le Doyen Louis MAMAN

Les couples d'insertion élevés : un danger pour nos implants ?

Résumé :

Le sujet de cette thèse est d'évaluer l'impact du couple d'insertion élevé de l'implant sur sa stabilité primaire et sa survie dans le temps, en comparaison avec l'utilisation de couples d'insertion faibles. La condition préalable essentielle du protocole original de Brånemark, supposée jouer un rôle clé dans la réussite de l'ostéointégration est la stabilité primaire de l'implant. Elle dépend de la qualité et de la quantité d'os au niveau du site chirurgical, de la géométrie de l'implant et du protocole chirurgical employé. Une sous-préparation du site associée à l'utilisation d'un couple d'insertion élevé permettrait d'augmenter la stabilité primaire de l'implant. Ce contact intime et stable obtenu entre l'os et l'implant réduirait alors les micromouvements excessifs qui sont considérés comme la cause la plus fréquente d'échec implantaire. Cependant, lors de la préparation du site implantaire, on aboutit irrémédiablement à la formation d'une zone étroite d'ostéocytes détruits au niveau de l'os péri-implantaire. Dans le cas d'insertion avec un couple élevé, cette zone peut jusqu'à doubler. Il s'agira donc de répondre aux inquiétudes quant à la possibilité qu'un couple d'insertion élevé (IT) puisse entraîner une nécrose, une altération de l'ostéointégration et une perte osseuse crestale au fil du temps.

Discipline :

Implantologie

Mots clés français (fMeSH et Rameau) :

Moment de torsion -- Dissertations universitaires ; Ostéo-intégration -- Dissertations universitaires ; Implants dentaires -- Thèses et écrits académiques ; Os -- Régénération -- Thèses et écrits académiques

English keywords (MeSH) :

Torque -- Academic Dissertations ; Osseointegration -- Academic Dissertations

Université Paris Descartes
Faculté de Chirurgie dentaire
1, rue Maurice Arnoux
92120 Montrouge