



**HAL**  
open science

**Forage ultrasonore en implantologie : intérêts,  
indications et limites. Revue systématique de la  
littérature**

Christophe Baillif

► **To cite this version:**

Christophe Baillif. Forage ultrasonore en implantologie : intérêts, indications et limites. Revue systématique de la littérature. Chirurgie. 2014. dumas-01080820

**HAL Id: dumas-01080820**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01080820>**

Submitted on 6 Nov 2014

**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.

Université de Bordeaux  
Collège des Sciences de la Santé  
UFR des Sciences Odontologiques

Année 2014

N°47

Thèse pour l'obtention du  
DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

Par Christophe Cédric Maël BAILLIF

Né le 6 Juillet 1989 à Sainte Clotilde(Ile de la Réunion 974)

Le vendredi 26 septembre 2014

**FORAGE ULTRASONORE EN IMPLANTOLOGIE :  
INTERETS, INDICATIONS ET LIMITES  
REVUE SYSTEMATIQUE DE LA LITTERATURE**

Directeur de thèse

Docteur Cyril SEDARAT

Membres du Jury

Président	Mme C. BERTRAND	Professeur des Universités
Directeur	M. C. SEDARAT	Maître de Conférences des Universités
Rapporteur	M. N. GLOCK	Assistant Hospitalo-Universitaire
Assesseur	Mlle E. ARRIVE	Maître de Conférences des Universités
Assesseur	M. B. ELLA NGUEMA	Maître de Conférences des Universités

# UNIVERSITE DE BORDEAUX

Président

M. Manuel TUNON de LARA

## COLLEGE DES SCIENCES DE LA SANTE UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

<b>Directeur</b>	M. Jean-François PELI	58-01
<b>Directeur Adjoint – Chargé de la Formation initiale</b>	M. Yves DELBOS	56-01
<b>Directeur Adjoint – Chargé de la Recherche</b>	M. Jean-Christophe FRICAIN	57-02
<b>Directeur Adjoint - Chargé des Relations Internationales</b>	M. Jean-François LASSERRE	58-02

## ENSEIGNANTS DE L'UFR

### PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme Caroline	BERTRAND	Prcthèse dentaire	58-02
Mlle Marie-José	BOILEAU	Orthopédie dento-faciale	56-02
M. Jean	DAVID	Prcthèse dentaire	58-02
Mme Véronique	DUPUIS	Prcthèse dentaire	58-02
M. J-Christophe	FRICAIN	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02

### MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Melle Elise	ARRIVÉ	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
Mme Cécile	BADET	Sciences biologiques	57-03
M. Etienne	BARDINET	Orthopédie dento-faciale	56-02
M. Michel	BARTALA	Prcthèse dentaire	58-02
M. Cédric	BAZERT	Orthopédie dento-faciale	56-02
M. Jean-Pierre	BLANCHARD	Prcthèse dentaire	58-02
M. Christophe	BOU	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
Mlle Sylvie	BRUNET	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
M. Sylvain	CATROS	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
M. Stéphane	CHAPENOIRE	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M. Jacques	COLAT PARROS	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M. Reynald	DA COSTA NOBLE	Parodontologie	57-01
M. François	DARQUE	Orthopédie dento-faciale	56-02
M. François	DE BRONDEAU	Orthopédie dento-faciale	56-02
M. Yves	DELBOS	Odontologie pédiatrique	56-01
M. Raphael	DEVILLARD	Odontologie conservatrice- Endodontie	58-01
M. Emmanuel	D'INCAU	Prcthèse dentaire	58-02
M. Bruno	ELLA NGUEMA	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M. Dominique	GILLET	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M. Jean-François	LASSERRE	Prcthèse dentaire	58-02
M. Yves	LAUVERJAT	Parodontologie	57-01
Mme Odile	LAVIOLE	Prcthèse dentaire	58-02
M. Jean-Marie	MARTEAU	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02

Mme Javotte	NANCY	Odontologie pédiatrique	56-01
Mme Dominique	ORIEZ	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M. Jean-François	PELI	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M. Philippe	POISSON	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
M. Patrick	ROUAS	Odontologie pédiatrique	56-01
Mlle Maud	SAMPEUR	Orthopédie dento-faciale	56-02
M. Cyril	SEDARAT	Parodontologie	57-01
Mlle Noémie	THEBAUD	Sciences biologiques	57-03
M. Eric	VACHEY	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01

### **ASSISTANTS**

M. Terence	BARSBY	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme Aurélie	BARSBY-EL-KHODER	Prothèse dentaire	58-02
Mme Mélanie	BOES-HULLMAN	Orthopédie dento-faciale	56-02
M. Julien	BROTHIER	Prothèse dentaire	58-02
M. Mathieu	CLINKEMAILLIE	Prothèse dentaire	58-02
M. Mathieu	CONTREPOIS	Prothèse dentaire	58-02
M. Guillaume	CRESTE	Prothèse dentaire	58-02
Mme Hélène	DENOST	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
Mlle Aurélie	DUARTE	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M. Guillaume	FENOUL	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mlle Geraldine	FERRERO-MOURGUES	Orthopédie dento-faciale	56-02
M. Nicolas	GLOCK	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
Melle Sandrine	GROS	Orthopédie dento-faciale	56-02
Melle Amandine	LAVAUD	Odontologie pédiatrique	56-01
Melle Alice	LE NIR	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
Mme Karine	LEVET	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
Melle Maria-Gabriela	MARC	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M. Matthieu	MEYER	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
Melle Darrène	NGUYEN	Sciences biologiques	57-03
Melle Virginie	PANNEREC	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
Melle Candice	PEYRAUD	Odontologie pédiatrique	56-01
M. Jean-Philippe	PIA	Prothèse dentaire	58-02
M. Mathieu	PITZ	Parodontologie	57-01
M. Cyril	VIDAL	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M. François	VIGOUROUX	Parodontologie	57-01

MAJ 01/04/2014

# ***REMERCIEMENTS***

***A notre juge et président,***

***Madame le Professeur Caroline BERTRAND,***

- Professeur des Universités - Praticien Hospitalier (sous-section Prothèses)
- Docteur de l'Université Bordeaux 2 Mention Sciences Biologiques et Médicales, Option Sciences Odontologiques
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- CES de Prothèse Adjointe Partielle
- CES de Prothèse Adjointe Totale
- Diplôme d'Études Approfondies de Paléo Anthropologie à l'Université Bordeaux 1
- Habilitation à diriger des recherches
- Responsable de l'Unité Médicale de Xavier Arnozan

*Je tiens à vous remercier pour l'enseignement que vous nous avez transmis, que ce soit à l'université ou en clinique.*

*Merci pour l'honneur que vous me faites en ayant accepté de présider notre thèse.*

*Veillez trouver, par la réalisation de ce travail l'expression de mes sentiments les plus respectueux.*

**A notre juge et directeur,**

**Monsieur le Docteur Cyril SEDARAT,**

- Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier
- Docteur de l'Université Bordeaux 2 Mention Sciences Biologiques et Médicales  
Option Sciences Odontologiques
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- DU de Parodontologie
- DU de Réhabilitation Orale et Implantologie
- Diplôme d'Études Approfondies d'Anthropologie
- CES de Biologie Buccale – Option anatomo-physiologie
- CES de Parodontologie
- CES de Prothèse dentaire – Option prothèse Scellée
- CES d'Odontologie Chirurgicale

*Je vous remercie d'avoir dirigé l'ensemble de ce travail, d'avoir tout supervisé pour obtenir ce résultat, et je vous en suis très reconnaissant.*

*Pour l'ensemble de votre enseignement à la fois à l'université et en clinique.*

*Pour votre sympathie, votre écoute, vos conseils.*

*Veillez trouver, par la réalisation de ce travail, l'expression de ma sincère reconnaissance et de ma profonde estime.*

**A notre juge et rapporteur,**

**Monsieur le Docteur Nicolas Glock,**

- Assistant Hospitalo-Universitaire B – Praticien Hospitalier
- Docteur de l'Université Bordeaux 2 Mention Sciences Biologiques et Médicales  
Option Sciences Odontologiques
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Diplôme d'études supérieures de chirurgie buccale (DESCB)
- CES d'Odontologie Chirurgicale
- CES de Parodontologie
- CES d'Odontologie Légale
- Master I Biosanté: anthropobiologie et évolution des maladies

*Je tiens à vous remercier d'avoir accepté avec enthousiasme et gentillesse  
d'être le rapporteur de notre travail.*

*Merci pour votre enseignement et votre sympathie.*

*Veillez trouver dans ce travail le témoignage de ma reconnaissance pour votre disponibilité.*

***A notre juge et assesseur,***

***Mademoiselle le Docteur Elise ARRIVE,***

- Maitre de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier
- Doctorat de l'Université Bordeaux 2 mention Sciences Biologiques et Médicales  
Option Santé Publique
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- DU de Prise en charge du VIH et des hépatites virales
- DU de Santé communautaire
- Master en Épidémiologie
- DESS de Projets de santé en situation de développement
- Responsable de la sous-section Santé Publique

*Nous vous remercions très sincèrement pour votre assistance dans l'élaboration de ce travail.*

*Puissez-vous trouver ici l'expression de nos  
sentiments les plus respectueux et de notre profonde reconnaissance.*

***A notre juge et assesseur,***

***Monsieur le Docteur Bruno ELLA NGUEMA,***

- Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Docteur de l'Université Bordeaux 2 Mention Sciences Biologiques et Médicales  
Options Sciences Odontologiques
- C.E.S de Parodontologie
- C.E.S d'Odontologie Chirurgicale
- D.U de Réhabilitation Orale et Implantologie
- D.U d'Anatomie tête et cou
- D.U d'Embryologie faciale
- DESS de Santé Publique

Je tiens à vous remercier de m'avoir fait l'honneur d'accepter d'être membre du jury de notre thèse.  
Veuillez trouver en ce travail le témoignage de toute notre gratitude pour la qualité de votre enseignement, les connaissances que vous nous avez partagé et transmis.

***A ma mère Marie,***

Pour toutes les valeurs et l'éducation que tu nous as inculqués à Loïc et à moi, pour ta gentillesse, ton affection, ton écoute, tes conseils, ta présence tout au long de notre scolarité et de notre vie. Pour tout ton soutien. C'est grâce à toi que j'en suis là aujourd'hui. Reste comme tu es.

***A mon père Karl,***

Pour ce que tu nous as également appris, la gentillesse qui te caractérise, l'affection que tu nous témoignes, le soutien que tu nous apportes, et pour tous ces souvenirs partagés avec toi. Ne change pas.

***A mon frère Loïc,***

Pour ce que tu es, le soutien que tu m'as toujours apporté, ta présence perpétuelle auprès de moi. Tous les conseils que tu m'as donné et que tu me donnes encore aujourd'hui, tout ce que tu m'as appris. Tous les bons moments que j'ai passé avec toi. Merci d'être là et d'être ainsi.

***A mon beau-père Rafik,***

Pour ton soutien tout au long de mes études, pour ta présence, toutes les valeurs que tu nous as apprises, l'éducation que tu nous a apportée à Loïc et à moi. Pour tout ce que tu nous as transmis, un immense merci. C'est également grâce à toi que j'en suis là aujourd'hui.

***A mes ami(e)s, Pierre, Jordan, Loïc, Camille(s), Julie, Floriane, Chann, Hugo, Justine, Edouard, Valentin, Julia, P-A, Juliette, Sophie, Mylène, Jeanne(s), Guillaume, Thomas, Adrien(s), Michaël, Matthieu, Enzo, Marie Elise, Victor, Pauline, Arnaud, Lucie, Eugénie, Joséphine, Amélie, Inès, Kenny,***

Pour votre présence à mes côtés, les bons moments passés ensemble et les souvenirs que je partage avec vous, vous êtes tous géniaux, je suis heureux d'avoir croisé votre route, et de vous compter parmi mes amis.

***A ma grand-mère,***

Pour toute l'affection que tu nous témoignes, cette extrême gentillesse qui te caractérise.

***A Dominique et Sophie,***

Pour votre gentillesse et pour ce que vous nous apportez.

***A l'ensemble de mes professeurs,***

Pour tout ce que vous nous avez appris, en cours ou en clinique, tous vos conseils pour nous permettre d'avancer et d'être de bons praticiens.

***Aux Docteurs Pierre BALDY, Georges DEOUX,***

Pour tout ce que vous m'avez transmis, votre accueil, votre apprentissage.

***Aux Docteurs Claudio STACCHI, Serge SZMUKLER-MONCLER, Peter MAURER,***

Pour leur autorisation d'accès aux articles et pour les photos aimablement fournies permettant d'illustrer cette thèse.

# S O M M A I R E

<b>I. SOMMAIRE</b> .....	<b>11</b>
<b>II. INTRODUCTION</b> .....	<b>12</b>
<b>III. MATÉRIEL ET MÉTHODES</b> .....	<b>15</b>
1. SCHÉMA D'ÉTUDE .....	<b>15</b>
2. STRATÉGIE DE RECHERCHE .....	<b>15</b>
3. CRITÈRES D'INCLUSION/EXCLUSION .....	<b>15</b>
4. SÉLECTION DES ÉTUDES .....	<b>15</b>
5. ACCÈS AUX ARTICLES.....	<b>16</b>
<b>IV. RÉSULTATS</b> .....	<b>17</b>
1. RECHERCHE ET DESCRIPTION DES ÉTUDES .....	<b>17</b>
2. STABILITÉ IMPLANTAIRE / ISQ .....	<b>21</b>
3. TAUX DE SUCCÈS .....	<b>25</b>
4. OSTÉOINTÉGRATION .....	<b>26</b>
5. TAUX DE SURVIE.....	<b>27</b>
6. TAUX DE PERTE OSSEUSE DE L'OS PÉRI IMPLANTAIRE.....	<b>28</b>
7. TEMPÉRATURE DE FORAGE .....	<b>29</b>
8. TEMPS DE FORAGE .....	<b>30</b>
9. DENSITÉ OSSEUSE PÉRI IMPLANTAIRE .....	<b>32</b>
<b>V. DISCUSSION</b> .....	<b>33</b>
<b>VI. BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>39</b>

# I N T R O D U C T I O N

L'utilisation des implants en vue de la réalisation de réhabilitations prothétiques implanto-portées pour le traitement des édentements permet aux patients de retrouver une intégrité fonctionnelle et esthétique proches de celle de la denture naturelle.

Cette approche médicale représente l'une des thérapeutiques de choix de l'édentation, validée scientifiquement depuis plus de 30 ans avec des taux de succès voisinant 95% (1)(2).

Les implants dentaires généralement en titane commercialement pur ou allié permettent après une implantation endo-osseuse dans des conditions précises et selon un cahier des charges adapté, une liaison directe à l'échelle microscopique entre l'os et la surface implantaire, phénomène désigné par le terme ostéointégration. (3) (4)

L'ostéointégration est une réponse biologique conduisant à un lien structurel direct entre l'os vivant et la surface d'un implant sous charge fonctionnelle. La stabilité de l'implant est une des conditions fondamentales pour que l'ostéointégration soit réussie et doit être maintenue pendant la période de cicatrisation afin d'éviter les micromouvements, ce qui pourrait conduire à la formation de tissu fibreux autour de l'implant. Plus précisément, la littérature suggère qu'il existe un seuil critique de micro-mouvement au-dessus duquel l'encapsulation fibreuse l'emporte sur l'ostéointégration (50-150  $\mu$ m) (5)(6)(7).

L'ostéointégration va être influencée par plusieurs facteurs.

On peut distinguer 6 facteurs différents qui vont agir sur l'ostéointégration (8) :

- Biocompatibilité et la nature du matériau implanté,
- Forme de l'implant,
- Nature du lit osseux receveur,
- Qualité de la technique chirurgicale employée,
- Conditions biomécaniques de mise en charge,
- et enfin l'état de surface de l'implant .

La stabilité de l'implant, au fil du temps, peut être considérée comme une combinaison variable de stabilité primaire et secondaire.

La stabilité primaire de l'implant est un phénomène mécanique influencé par des facteurs liés à l'implant (composition, Biocompatibilité et bioactivité du matériau), le patient (état de santé et absence de facteurs pouvant compromettre la cicatrisation osseuse), du site osseux (qualité et quantité d'os), et l'opérateur (technique chirurgicale): il est le plus élevé juste après la pose de l'implant, en raison de compression mécanique de l'appareil sur les murs d'os, et il diminue avec le temps. La stabilité secondaire est l'augmentation progressive de la stabilité liée à des événements biologiques à l'interface os implant tel que la formation d'os et le remodelage: il est absent au moment de la pose de l'implant et augmente avec le temps (9).

La stabilité secondaire est fortement influencée par les caractéristiques de fixation et par la technique chirurgicale. Au cours des 20 dernières années, de nombreuses études expérimentales ont montré que le processus de guérison de l'os a été modulé par la topographie de l'implant (10) et par le traitement de surface(11).

L'ostéointégration sera plus rapide et plus efficace sur les surfaces modérément rugueuses que sur les surfaces lisses (12)(13). En outre, des données récentes appuient le rôle de surfaces bioactives, ce qui suggère que des étapes importantes de l'ostéointégration peuvent être améliorées par des modifications à l'échelle nanométrique obtenues par des moyens chimiques et des traitements physiques de la surface de l'implant (14)(15)(16)(17)(18)(19)(20).

Il existe très peu de travaux qui analysent les relations entre la préparation du site implantaire et la réponse de la cicatrisation osseuse, malgré le fait que la préparation atraumatique du lit receveur a toujours été considérée comme un facteur important pouvant influencer l'ostéointégration. Ces études tiennent compte de facteurs liés à la technique, tels que la génération de chaleur (21)(22), le type d'irrigation (23) effets de revêtement (24) (25) et l'ostéotomie (26)(27)(28), dont l'application est, cependant, limitée à l'os de densité moyenne à faible.

L'utilisation des ultrasons pour l'ostéotomie a été introduite par Horton et al. (1975) (29) et par Vercellotti et al. (2001) (30) qui ont développé un dispositif approprié pour la chirurgie buccale et pour remplacer les instruments d'ostéotomie classique. Les bistouris ultrasonores permettant d'effectuer le forage ultrasonore sont équipés aujourd'hui de pastilles de céramique à base de titanate de baryum, cette matière étant plus résistante et plus adaptée aux fréquences utiles pour forer l'os (31).

La possibilité d'applications chirurgicales a également été étudiée dès les années 1940 (32), mais l'utilisation clinique dans les pays occidentaux a été pendant une longue période limitée à la pratique dentaire, où il continue d'être utilisé pour le nettoyage dentaire supra et infra gingival, et traitement radiculaire (33)(33)(34), pour la résection apicale et obturation à rétro en chirurgie endodontique (35) pour la préparation du canal radiculaire (36), et pour la suppression des dépassements, et parfois des instruments brisés (34)(35)(37).

Les années 1980 et 1990 ont vu l'introduction clinique de plus en plus concentrée sur les ultrasons (38)(39)(40) et la piezochirurgie (41)(42)(43). La préparation ultrasonore de l'ostéotomie a été étudiée suite à des travaux plus anciens (44)(29), mais ce n'est que dans ces dernières années que les ultrasons pour ostéotomie sont devenus compétitifs avec les instruments classiques dans certains contextes(45)(46)(47)(48)(49).

L'ostéotomie par ultrasons est utilisée à ce jour dans les procédures de chirurgie buccale et d'implantologie suivantes: relevé sinusien (45)(46)(50)(51), l'expansion de crête alvéolaire (18)(52)(53), extraction de canines incluses, latéralisation du nerf alvéolaire inférieur (53)(IAN), prélèvement osseux à proximité du nerf alvéolaire inférieur (46), la chirurgie orthognatique, la réalisation de prélèvement osseux (46)(52)(53), la chirurgie parodontale(54), retrait des implants ostéointégrés.

Les ultrasons sont utilisés pour accélérer la cicatrisation des fractures osseuses et des lésions ligamentaires par un phénomène de promotion de la prolifération cellulaire et de synthèse de la matrice osseuse (51)(55). D'autres études expérimentales ont émis l'hypothèse d'une influence des ultrasons dans la promotion de l'angiogenèse et en stimulant les odontoblastes permettant la production de dentine réparatrice, en activant les cellules souches de la pulpe dentaire qui se différencient en odontoblastes (56).

Les rapports cliniques multidisciplinaires sur l'utilisation des ultrasons en chirurgie osseuse montrent des résultats prometteurs en termes de précision et de sécurité (57)(58)(52)(59)(60)(61)(62)(63)(64)(65).

Deux études récentes sur l'animal ont conclu que la piézochirurgie semble être plus efficace en implantologie et en parodontologie en favorisant la cicatrisation osseuse : une incision ultrasonore provoque une augmentation plus rapide dans la production de facteurs BMP-4 et TGF- $\beta$ 2, qui interviennent dans le contrôle du processus inflammatoire, et stimulent le remodelage osseux (67)(68)(69).

Depuis peu certains auteurs proposent l'application des ultrasons à la préparation et au forage des sites implantaire(70)(71)(72).

Cependant, Les preuves du bénéfice réel de cette méthode pour la préparation et le forage des sites implantaire n'ont pas été encore évaluées de manière systématique.

Par conséquent, les objectifs de cette revue systématique sont de déterminer l'intérêt réel tant sur le plan fondamental que clinique de l'utilisation des ultrasons dans le forage implantaire et de comparer l'effet tant sur le plan fondamental que clinique du forage ultrasonore et du forage conventionnel.

## Schéma d'étude

---

Nous avons réalisé une revue systématique de la littérature scientifique.

## Stratégie de recherche

---

Les bases de données électroniques PubMed, Wiley, Cochrane, Scopus, Pascal ont été utilisées pour la recherche d'articles.

La combinaison de mots-clés suivante utilisée a été:

- Sur Pubmed : (((osseointegration[MeSH Terms]) AND osteotomy[MeSH Terms]) AND dental implant[MeSH Terms]) AND piezosurgery[MeSH Terms]) AND oral surgery[MeSH Terms]
- Sur Wiley, Cochrane, Scopus, Pascal : ( osseointegration) AND (osteotomy) AND (dental implants) AND (piezosurgery) AND (oral surgery) : Keywords

La recherche électronique finale a été conduite le 20 novembre 2013.

## Critères d'inclusion/exclusion

---

Très peu d'études ont été trouvées sur ce sujet.

Le seul critère d'exclusion que nous avons retenu, est d'avoir rejeté les études ne traitant pas du forage implantaire.

## Sélection des études

---

Les titres et les résumés des articles obtenus ont été étudiés, les doublons ont été éliminés, et si l'incorporation d'un article semblait probable, le texte intégral était lu. De plus, les références bibliographiques des articles sélectionnés ont été passées en revue pour des inclusions possibles.

Les articles n'abordant pas le forage implantaire par ultrasons ont été rejetés.

## Accès aux articles

---

Pour avoir accès à ces articles, nous nous sommes inscrits sur différents sites tels que ResearchGate et en contactant les auteurs de certains articles, tels que Claudio STACCHI, Peter MAURER, Serge SZMUKLER-MONCLER.

Ces auteurs nous ont aimablement fourni leurs articles ainsi que certaines illustrations pour cette thèse.

Afin de trouver certains articles, nous avons également contacté le groupe EMS, fabricant d'inserts ultrasonores nécessaires à cette technique.

Nous avons également effectué la formation ZOTERO pour organiser notre bibliographie.

Chaque article a été analysé avec les fiches de lecture critique d'article du Dr SALMI.

# R E S U L T A T S

## Recherche et description des études

---

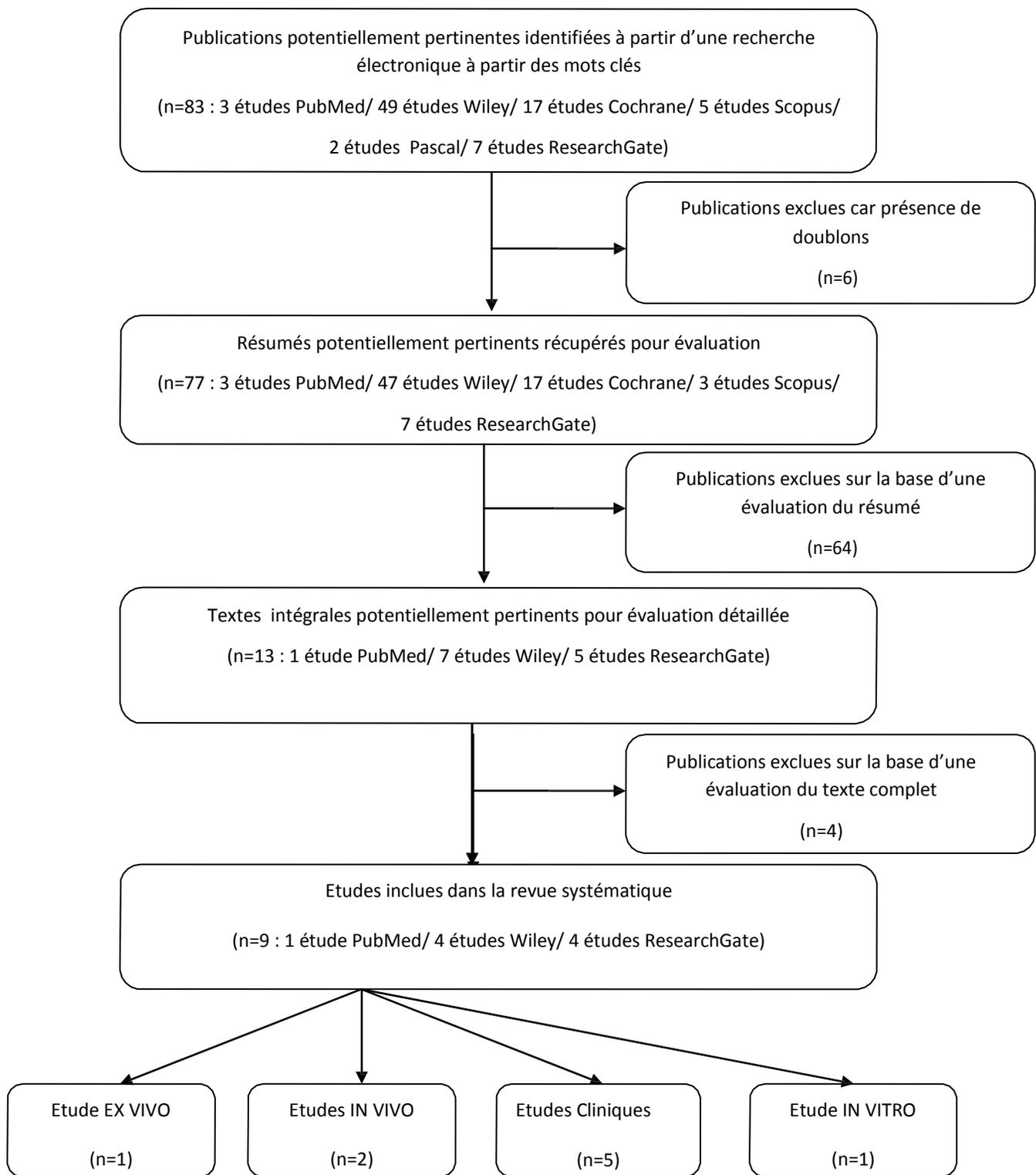
La recherche électronique a regroupé initialement 83 articles. Après avoir éliminé les doublons, 77 articles concernant le forage ultrasonore issus de la recherche électronique ont été conservés. La recherche par les sources des articles n'a mené à aucun article supplémentaire. Puis nous avons analysé les résumés de chaque article, et 64 articles ont été exclus, enfin nous avons analysé le texte complet, et rejeté 4 articles. Ainsi, 9 articles ont été retenus au total. Tous sont en langue anglaise et ont des dates de publication comprises entre 2011 et 2014.

Nous avons analysé chaque article et retenu les essais contrôlés randomisés, cinq études cliniques pour comparer la piezochirurgie et le forage conventionnel.

Un article porte sur l'analyse de la production thermique lors du forage, par une expérimentation sur modèle ex vivo à partir d'os provenant de côtes de bœuf.

Un autre article est un essai contrôlé randomisé in vivo réalisé sur le chien, pour comparer 3 techniques : la piezochirurgie, le forage conventionnel, et l'ostéotomie.

Ainsi, nous avons pu réaliser l'arbre de sélection suivant, à partir de cinq études cliniques(70)(69)(73)(74)(75), deux études In Vivo (76)(77), une étude Ex Vivo (78), une étude In Vitro (72).



*Figure 1 : arbre de sélection des articles pour la revue systématique*

Référence	Type d'étude	Effectif de l'étude	Protocole	Stabilité implantaire	Taux de succès	Ostéointégration	Taux de survie	Taux perte osseuse péri-implantaire	Température de forage	Temps de forage	Densité osseuse
2010											
Stübinger et al.(77)	In Vivo	6	Conventionnel et ultrasonore et LASER			Résultats comparables pour ostéointégration précoce. <u>A 4 semaines</u> meilleure ostéointégration pour implants posés par protocole ultrasonore <u>A 6 semaines</u> meilleure ostéointégration pour implants posés par protocole conventionnel <u>A 8 semaines</u> meilleure ostéointégration pour implants posés par protocole LASER					
Di Alberti et al.(70)	Clinique	40	Conventionnel et Ultrasonore								Meilleure densité osseuse par protocole ultrasonore
2011											
Rashad et al. (72)	In Vitro		Conventionnel et Ultrasonore						Forage ultrasonore plus calorifique, sauf si adaptation de l'irrigation	Technique piezochirurgicale (78.1 secondes) plus longue que technique conventionnelle (13.9 secondes).	
2012											
Baker et al. (78)	Ex Vivo	4	Conventionnel et Ultrasonore	<u>A J=0</u> , meilleure stabilité implants par protocole conventionnel							
Cano et al. (76)	In Vivo	10	Conventionnel et Ultrasonore	<u>A J=0</u> , meilleure stabilité pour implants posés par protocole conventionnel.  <u>A 5 semaines</u> , meilleure stabilité pour implants posés par protocole ultrasonore							



## Stabilité implantaire / ISQ

---

Pour analyser et comparer la stabilité implantaire, les auteurs vont prendre pour référence l'indice ISQ, (Implant Stability Quotient ou Quotient de Stabilité Implantaire).

Cet indice a une valeur allant entre 1 et 100, plus la valeur sera grande, et meilleure sera la stabilité implantaire.

On va mesurer cet indice de stabilité de l'implant à l'aide de mesures des fréquences magnétiques entre un transducteur vissé à l'implant (une cheville magnétique) et un analyseur de fréquence de résonance.

L'aimant sur la partie supérieure de la cheville est excité par une impulsion magnétique, et le retour d'onde est interprété comme une valeur numérique (entre 0 et 100), qui est en relation linéaire avec le degré de micromouvement de l'implant.

Au moyen d'une Analyse de la Fréquence de Résonance (indice RFA), la stabilité de l'implant peut être évaluée quantitativement et suivie au cours du temps en fonction de la rigidité de l'implant intra osseuse (79).

Les principaux facteurs qui influencent les mesures de la RFA sont la structure osseuse (le plus important est l'épaisseur de la corticale) et, dans une moindre mesure, la longueur implant.

La stabilité implantaire implique la stabilité primaire résultant de l'ancrage mécanique entre l'implant et les murs osseux du site implantaire; ainsi que la stabilité secondaire qui est la stabilité acquise lors de la néoformation et du remodelage osseux au contact de l'implant lors de la période de guérison osseuse.

Notre recherche sur les différentes bases de données nous a permis de trouver 4 articles comparant la stabilité implantaire entre des implants insérés de manière conventionnelle, et des implants insérés après préparation du site par piezochirurgie.

Ces 4 articles sont récents, le plus ancien date de 2011.

Il s'agit d'essais contrôlés randomisés, deux essais ont été réalisés sur l'être humain, un essai a été réalisé chez le chien et un essai réalisé sur des côtes bovines.

La première étude a été réalisée en 2013, par Stacchi et al.(71) chez 20 patients nécessitant deux implants adjacents au niveau prémolaire maxillaire, les patients sélectionnés ont entre 41 et 81 ans, avec une moyenne d'âge de 59.7 ans. Chaque patient aura un implant posé par technique piézochirurgicale et un implant posé de manière traditionnelle. Les implants seront posés sur des sites sains, au moins 6 mois après une extraction sur le même site. Il aura sélectionné ses patients en ayant exclu les patients présentant certaines pathologies contre indiquant la pose d'implant telles que des troubles de la coagulation, des troubles métaboliques (diabète et troubles osseux), parodontopathies non traitées, les patients fumeurs, toxicomanes, les patients ayant été traités par radiothérapie au niveau cervico-facial, et enfin les patients ayant été traités par biphosphonates en intra-veineuse.

Sa mesure sera effectuée à différentes périodes : le jour de la pose, JO, à 7 jours, à 14 jours, à 21 jours, à 28 jours, à 42 jours, à 56 jours, et à 90 jours.

Il obtient les résultats suivants: le quotient de stabilité implantaire est plus élevé le jour de la pose pour les implants ayant été posés de manière traditionnelle (ISQ=72.2) que pour les implants ayant été posés par piezochirurgie (ISQ=70.5).

Cependant, le quotient de stabilité implantaire va diminuer progressivement sur 90 jours pour les implants ayant été posés de manière traditionnelle, avec un minimum à 21 jours (ISQ=65.6), et pour arriver à 90 jours à un quotient de stabilité implantaire inférieur à celui du départ (ISQ=69.2) .

Pour les implants ayant été posés par piézochirurgie, le quotient de stabilité implantaire va diminuer jusqu'à atteindre son minimum à 14 jours (ISQ=68.6) et va ensuite remonter pour arriver à 90 jours à un quotient de stabilité implantaire supérieur à celui du jour de la pose (ISQ=71.0).

On pourrait donc conclure d'après son étude que l'on obtiendrait une meilleure stabilité implantaire sur les 90 jours suivant la pose de l'implant pour les implants mis en place par piezochirurgie, que pour les implants mis en place de manière traditionnelle.

La seconde étude chez l'homme a été réalisée par Canullo et al. (73) en 2013. Cette étude a été réalisée chez 15 patients, neuf femmes et six hommes, âgés de 32 à 76 ans, avec une moyenne de 57.3 ans. Chaque patient nécessitant la mise en place de deux implants au niveau des molaires mandibulaires. Un implant sera posé par piezochirurgie et le second implant sera posé par forage conventionnel. Il aura sélectionné ses patients en ne traitant que des patients majeurs, ne présentant pas de pathologie médicale importante, non fumeurs ou fumeurs de moins de 10 cigarettes par jour (tous les fumeurs de pipe ou de cigare ont été exclus). Les critères d'exclusion suivants ont été utilisés: les sites présentant une infection aiguë, les sites nécessitant des procédures de régénération, la présence de la maladie parodontale incontrôlée, les femmes enceintes et allaitantes et les patients ayant des antécédents de traitement par des biphosphonates.

Les mesures seront effectuées immédiatement après la mise en place de l'implant, puis après 1, 3, 8 et 12 semaines .

Le protocole de forage sera différent de celui de l'étude de Stacchi et al. (71), ainsi chaque patient aura un site implantaire préparé avec la procédure conventionnelle, et le second site préparé avec la procédure conventionnelle jusqu'à l'avant-dernier foret puis la préparation a été finie avec un insert ultrasonore.

Il obtient les résultats suivants, le jour de la pose les implants ayant été insérés par piezochirurgie ont un quotient de stabilité implantaire (ISQ=69) supérieur à celui des implants ayant été insérés par forage conventionnel (ISQ=68.5).

À 8 semaines, un implant a été perdu dans le groupe témoin. Le groupe témoin étant celui du forage conventionnel. Il obtient un plus grand coefficient de stabilité implantaire pour les implants ayant été insérés par piezochirurgie (ISQ=73.8) par rapport aux implants ayant été insérés par forage conventionnel (ISQ=68.5).

Le quotient de stabilité implantaire continuera à augmenter tout au long de l'étude, sur 12 semaines.

Les implants ayant été posés par piezochirurgie présentent toujours un quotient de stabilité implantaire supérieur (ISQ=76.3) aux implants insérés de manière conventionnelle (ISQ=73.8).

Ainsi, d'après l'étude de Canullo et al. (73) on pourrait conclure que le forage ultrasonore amène à une meilleure stabilité implantaire par rapport au forage conventionnel.

La troisième étude sur la stabilité implantaire a été réalisée par Jorge Cano et Julian Campo en 2012 (76).

Cette étude a été réalisée sur 10 chiens de race Beagle. Les auteurs vont comparer l'ostéointégration obtenue après la mise en place d'implants par 3 techniques différentes : forage conventionnel, ostéotomie et piezochirurgie. Ils implanteront chaque animal avec 3 implants placés dans la crête iliaque de chacun.

Les auteurs évalueront l'ostéointégration en mesurant la stabilité implantaire le jour de la pose puis 5 semaines après. Ils compareront ces valeurs de stabilité implantaire.

Ils obtiennent une stabilité implantaire initiale, mesurée le jour de la pose, supérieure pour la technique conventionnelle (ISQ= 84.11) par rapport à la technique ultrasonore (ISQ=80.89).

Après 5 semaines ils constatent que les implants placés par piezochirurgie sont légèrement plus stables (ISQ=83.63) par rapport à ceux qui sont mis en place par forage conventionnel (ISQ= 83.00) .

Ils en concluent que la réduction des charges mécaniques lors de la préparation et la réduction de la chaleur produite lors du forage sont bénéfiques pour améliorer la stabilité au cours de la période critique de cicatrisation osseuse après la mise en place de l'implant.

La dernière étude a été réalisée par Justin A. Baker en 2011 (78).

Cette étude a été réalisée sur des côtes de bœuf, en effet d'un point de vue macroscopique, la structure corticale et médullaire des côtes de bœuf est similaire à la structure osseuse d'une crête édentée. En effet après section des côtes de bœuf, on a une ressemblance avec les types 1 ou 2 d'os de qualité intermédiaire, ce qui donne un modèle similaire à l'os humain édenté.

Les auteurs disposeront de 4 côtes de bœuf fraîches, et poseront sur chaque côte 5 implants. Il y aura donc 20 implants posés au total, 10 par forage conventionnel, et 10 par piezochirurgie.

Ils effectueront les mesures grâce à l'appareil *Osstell Mentor* , 5 mesures effectuées par implant.

Ils obtiennent une stabilité implantaire (ISQ=70.94) supérieure pour les implants insérés par forage conventionnel par rapport aux implants insérés par technique ultrasonore (ISQ=69.04).

Ils en concluent que la stabilité implantaire est similaire pour les deux techniques de forage implantaire, conventionnel ou par ultrasons.

<b>ETUDE</b>	<b>Stacchi et al.(71)</b>	<b>Canullo et al.(73)</b>	<b>Cano et al.(76)</b>	<b>Baker et al.(78)</b>
Année de publication	2013	2013	2012	2012
Type d'étude	Essai contrôlé randomisé	Essai contrôlé randomisé	Essai contrôlé randomisé	
Sujet d'étude	Humain	Humain	Chien (race Beagle)	Côtes de bœuf
Nombre de sujets/pièces	20	15	10	4
Nombre d'implants posés	40 : 20 par forage conventionnel, 20 par piezochirurgie	30 : 15 par forage conventionnel, 15 par piezochirurgie	28 : 9 par forage conventionnel, 9 par piezochirurgie, 10 par ostéotomie	20 : 10 par forage conventionnel et 10 par forage ultrasonore
Rang d'âge	41-81 ans	32-76 ans	2 ans	
Âge moyen	59.7 ans	57.3 ans	2 ans	
Objectif	Comparer la stabilité entre des implants posés par technique conventionnelle ou par piezochirurgie	Comparer la stabilité tout au long de l'ostéointégration entre des implants posés par technique conventionnelle ou par piezochirurgie	Comparer la stabilité entre des implants posés par technique conventionnelle, ostéotomie ou par piezochirurgie.	Comparer la stabilité primaire entre des implants posés par technique conventionnelle ou par piezochirurgie
Opérateur	Un unique chirurgien expérimenté avec les 2 techniques chirurgicales	Un unique chirurgien expérimenté pour la pose des implants et un second clinicien "aveugle " (non informé de la technique utilisée) pour le relevé des données	Deux praticiens de l'université de Madrid.	
Période d'observation	Sur 90 jours, avec des relevés le jour de la chirurgie, puis à 7, 14, 21, 28, 42, 56 et 90 jours	Sur 12 semaines, avec des relevés le jour de la chirurgie, puis à 1, 3, 8 et 12 semaines	Sur 5 semaines avec des relevés le jour de la chirurgie puis à 5 semaines	Relevés effectués le jour de la chirurgie
<b>Résultat</b>	<b>A J=0, stabilité des implants conventionnels supérieure .A J= 90 , stabilité des implants posés par piezochirurgie supérieure .</b>	<b>A J=0, stabilité des implants conventionnels supérieure. A 12 semaines, stabilité des implants posés par piezochirurgie supérieure.</b>	<b>A J=0, stabilité des implants conventionnels supérieure .A 5 semaines, stabilité des implants posés par piezochirurgie supérieure.</b>	<b>A J=0, stabilité des implants conventionnels supérieure .</b>

***TABLEAU 2: COMPARAISON DE LA STABILITE IMPLANTAIRE ENTRE DES IMPLANTS POSES DE MANIERE CONVENTIONNELLE ET DES IMPLANTS POSES PAR PIEZOCHIRURGIE, ANALYSE DE 3 ESSAIS CLINIQUES RANDOMISES***

## Taux de succès

---

Pour aborder le taux de succès des implants insérés par piezochirurgie, Vercellotti et al.(75) vont suivre l'ostéointégration de 3579 implants 1 an après la mise en place des implants.

Ils rappellent les grandes notions qui définiront le succès d'un implant tel que la stabilité primaire, la stabilité secondaire. Ils citent Buser et al. (80) qui ont défini le succès d'un implant comme étant l'absence de mobilité de l'implant cliniquement, l'absence de douleur ou toute sensation subjective, l'absence d'infection péri-implantaire, et l'absence de radioclarité autour de l'implant.

Et définissent l'échec implantaire comme étant l'apparition d'une mobilité, ou d'une infection imposant la dépose de l'implant.

Ils rappellent également qu'une préparation la plus atraumatique possible a une influence importante sur l'ostéointégration.

Les patients sélectionnés ne présentaient pas de contre-indications pour la chirurgie implantaire, leurs critères d'exclusion pour les patients sont l'immunodépression, les patients ayant eu une irradiation cervico-faciale, un diabète non contrôlé, une mauvaise hygiène ou motivation, une maladie parodontale non traitée, des abus de drogue ou d'alcool, des problèmes psychiatriques.

Les implants seront posés par 12 praticiens avec un niveau de compétence varié.

Il y'a 1914 patients sélectionnés, 29 patients ont abandonné l'étude, donc 1885 patients traités, 876 hommes, 1009 femmes, âgés de 19 à 77 ans avec un âge moyen de 58.2ans.

Sur les 3579 implants posés, 2060 seront posés au maxillaire, et 1519 à la mandibule.

Ils relèvent 77 échecs durant les 5 premiers mois d'ostéointégration, 59 au maxillaire et 19 à la mandibule.

Ainsi, ils obtiennent les résultats suivants pour l'ostéointégration : 97.14 % de succès d'ostéointégration au maxillaire (59 échecs sur 2060 implants) ; et 98.75% de succès d'ostéointégration à la mandibule (19 échecs sur 1519 implants).

Le taux de succès moyen est donc de 97.82%.

## Ostéointégration

Nous avons une étude comparant l'ostéointégration entre des implants insérés par laser Er:YAG, des implants insérés par piezochirurgie et des implants insérés par technique conventionnelle (77).

Cette étude a été réalisée par Stübinger et al.(77), en 2010 sur des moutons.

108 implants ont été insérés au niveau des os du bassin chez 6 moutons. 18 implants chez chaque mouton.

Pour comparer l'ostéointégration entre ces différentes techniques, les auteurs se serviront de l'indice BIC (Bone to Implant Contact ou Taux de Contact Os-implant).

	4 semaines	6 semaines	8 semaines
<b>Technique conventionnelle</b>	72.92	75.97	57.64
<b>Forage ultrasonore</b>	75.14	52.92	55.56
<b>Forage laser</b>	74.51	52.85	63.19

*TABLEAU 3: TAUX D'OSTEOINTEGRATION, D'APRES L'ETUDE DE STÜBINGER*

On constate que l'ostéointégration, mesurée par l'indice BIC, diminue au bout de 6 semaines pour les techniques ultrasonores et LASER.

Puis cet indice d'ostéointégration va augmenter à la 8<sup>ème</sup> semaine pour la technique ultrasonore et pour la technique LASER. Mais va diminuer pour la technique conventionnelle.

Les auteurs en concluent que l'on obtient des résultats comparables concernant l'ostéointégration précoce pour les 3 techniques de forage, que ce soit par forage conventionnel, par forage ultrasonore, soit par forage LASER.

À 4 semaines, taux de contact os-implant supérieure pour implants insérés par technique ultrasonore.

À 6 semaines, taux de contact os-implant supérieure pour implants insérés par technique conventionnelle.

À 8 semaines, taux de contact os-implant supérieure pour implants insérés par forage LASER.

## Taux de survie

ETUDE	Blus et al.(74)	Vercellotti et al.(75)
Année de publication	2013	2014
Type d'étude	Cohorte	Etude analytique
Nombre de sujets	86	1885
Nombre d'implants posés	168	3579
Rang d'âge	26-77 ans	19-77 ans
Âge moyen	Non renseigné	58.2 ans
Objectif	Suivre la taux de survie d'implants posés post-extractions sur des sites sains, des sites avec infection aigue ou chronique	Suivre le pourcentage d'ostéointégration et le taux de survie sur 1 an de 3579 implants insérés par piezochirurgie
Opérateur	Pas d'information	Plusieurs chirurgiens
Période d'observation	Sur 2 ans	Sur une période entre 1 et 3 ans
<b>Résultat</b>	<b>Sur un an, taux de survie des implants posés par piezochirurgie sur un site sain : 98.8%, sur un site avec une infection chronique : 100%, sur un site avec infection aigue : 94.4%.</b>	<b>Sur 3 ans, taux de survie des implants posés par piezochirurgie : 97.74%.</b>

TABLEAU 4: TAUX DE SURVIE D'IMPLANTS POSES PAR PIEZOCHIRURGIE, ANALYSE DE 2 ETUDES

Nous avons 2 études traitant du taux de survie des implants insérés par piezochirurgie.

La première étude nous rappelle quels sont les critères de survie d'un implant d'après Buser et al.(81) et d'après Cochrane et al. (82) : stabilité de l'implant à chaque contrôle, absence de douleur ou de ressenti subjectif, absence d'infection péri-implantaire récurrente, et absence de radioclarité autour de l'implant.

Ces 2 études sont très récentes, et ont été faites chez de nombreux sujets, 86 patients pour la première et 1885 patients pour la seconde.

Dans la première étude (74) , Blus et al. vont étudier le taux de survie d'implants posés immédiatement après l'extraction, il va diviser les 168 sites implantaires en 3 groupes, un groupe avec les sites post extraction non infectés (85 implants chez 57 patients), un groupe avec les sites présentant une infection aigüe (36 implants chez 29 patients), et un groupe avec les sites étant atteints d'une infection chronique (47 implants chez 28 patients).

Pour cette étude, ils vont travailler sur 86 patients, 53 femmes et 33 hommes, âgés de 26 à 77 ans, qui vont recevoir 168 implants immédiats.

Pour leur expérimentation, le même protocole a été effectué pour chacun des sites, et les sites infectés ont été nettoyyés aux ultrasons pendant 30 secondes.

Ils obtiennent 3 échecs en 2ans : 1 échec dans le groupe où le site n'était pas infecté, et 2 échecs dans le groupe qui présentait une infection aigue. Ainsi, le taux de survie pour les implants posés dans des sites sains est de 98.8%. Pour les implants posés dans des sites avec une infection aigue, le taux de survie est de 94.4%. Enfin, pour les sites présentant une infection chronique, le taux de survie des implants est de 100%.

Ils en concluent que le taux de survie des implants est similaire entre les sites infectés et non infectés lorsque les sites infectés ont reçu un traitement médical et chirurgical et ont été traités par ultrasons.

La seconde étude traitant du taux de survie des implants insérés par piezochirurgie est une étude de Stacchi et al.(75) .

Il s'agit d'une étude analytique réalisée en 2014, chez 1885 patients.

Ils vont suivre l'ostéointégration de 3579 implants entre 1 et 3 ans après la mise en place des implants.

Ces implants seront insérés suivant le même protocole, mais par plusieurs chirurgiens.

Pour cette étude, 2060 implants seront posés au maxillaire, et 1519 implants seront posés à la mandibule.

Ils obtiennent en 3 ans 62 échecs implantaires au maxillaire, et 19 échecs à la mandibule, soit un taux de survie de 96.99% au maxillaire, et un taux de survie de 98.75% à la mandibule.

Ils en concluent que le taux de survie des implants insérés par piezochirurgie est supérieur à la mandibule par rapport au maxillaire.

## **Taux de perte osseuse de l'os péri implantaire**

---

Dans son article (73) Canullo et al. étudient la perte osseuse de l'os marginal péri-implantaire pour des implants posés par technique piézochirurgicale et des implants posés de manière conventionnelle.

Cette mesure comparative a été effectuée à l'aide d'une radiographie rétro-coronaire entre le niveau osseux le jour de la pose de l'implant et celui-ci 15 mois après.

Ils constatent que la perte osseuse péri-implantaire a été la même pour les deux techniques de mise en place d'implants.

## Température de forage

---

Dans son article (72) Rashad et al. vont comparer la production thermique lors d'une mise en place d'implants par piezochirurgie ou par méthode traditionnelle.

Cette équipe travaillera sur des côtes bovines fraîches, les côtes bovines sont idéales pour les expérimentations ex-vivo, en effet cette pièce osseuse présente de nombreuses similitudes avec la mandibule humaine, au niveau de la densité osseuse, du rapport entre l'os cortical et l'os spongieux et la conductivité thermique, d'après Brisman 1996(83), Abouzia et James 1997(84), Cordioli et Majzoub 1997(21), Davidson et James 2000(85), Ercoli et al. 2004(24), Chacon et al. 2006(25).

Il utilisera deux systèmes pour la piezochirurgie : Mectron, et NSK, et utilisera le système Straumann pour la méthode traditionnelle.

Rashad et al.(72) citent Eriksson et Albrektsson(86), qui ont montré que la chaleur aura un effet néfaste sur la cicatrisation osseuse et que l'os peut tolérer une température critique de 47°C, en effet de nombreuses études ont démontré qu'une température de forage supérieure à la température critique pendant plus d'une minute a un effet néfaste sur l'os vivant (Eriksson et Albrektsson 1983(87)), et compromettent l'ostéogenèse (Eriksson et Albrektsson 1984(88)).

Rashad et al.(72) citent aussi Chacon et al.(25) qui sont parvenus à identifier les facteurs qui influencent la production de chaleur lors du forage, comme la vitesse de forage (Brisman 1996(83); Iyer et al. 1997(89); Sharawy et al 2002(90)), l'épaisseur de corticale, la force de forage (Brisman 1996(83); Abouzia et James 1997(84); Bachus et al. 2000(91)), la profondeur de forage, le diamètre de forage (Cordioli et Majzoub 1997(21)), l'irrigation (Eriksson et al. 1984(92); Sener et al. 2009(93)), la forme des forets (Cordioli et Majzoub 1997(21)).

Pour chaque condition d'essai, 10 répétitions ont été effectuées et par conséquent, un total de 360 séquences de forage a été étudié.

Rashad et al. (72) constatent que le volume d'irrigation influence la température de forage au niveau de la corticale pour la piezochirurgie, mais pas pour l'os spongieux. Cependant, la température relevée n'est pas différente entre la corticale et l'os spongieux même en faisant varier l'irrigation pour le forage conventionnel.

Il a été observé que la température osseuse a dépassé le seuil critique de 47°C au niveau de l'os spongieux pour le forage ultrasonore.

Le forage ultrasonore produit plus de chaleur au niveau de l'os qui sera préparé, cependant en adaptant l'irrigation, on arrive à des résultats similaires à ceux qui sont obtenus par technique conventionnelle.

## Temps de forage

ETUDE	Stacchi et al.(71)	Rashad et al.(72)
Année de publication	2011	2010
Type d'étude	Etude clinique	Essai contrôlé randomisé
Sujet d'étude	Humain	Côtes de bœuf fraîche
Nombre de sujets	20	
Nombre d'implants posés	40 implants posés : 20 par forage conventionnel, 20 par piezochirurgie	
Rang d'âge	41-81 ans	
Âge moyen	59.7 ans	
Objectif	Comparer le temps effectué entre le premier forage et la mise en place de l'implant entre la technique conventionnelle et la technique piezochirurgicale.	Comparer le temps de préparation du site implantaire entre la technique conventionnelle et la technique piezochirurgicale
Opérateur	Un unique chirurgien expérimenté avec les 2 techniques chirurgicales	
Nombre de forêts par séquence	4 pour les 2 techniques	3 inserts pour la technique conventionnelle/4 inserts pour la piezochirurgie
<b>Résultat</b>	<b>Temps de mise en place de l'implant avec la technique piezochirurgicale (7.15 minutes) plus long qu'avec la technique conventionnelle (6.00 minutes)</b>	<b>Temps de préparation du site implantaire avec la technique piezochirurgicale (78.1 secondes) plus long qu'avec la technique conventionnelle (13.9 secondes).</b>

**TABLEAU 5: COMPARAISON DU TEMPS DE FORAGE ENTRE LA TECHNIQUE CONVENTIONNELLE ET LA TECHNIQUE PIEZOCHIRURGICALE, ANALYSE DE 2 ESSAIS CONTROLES RANDOMISES**

Pour comparer le temps de forage entre le protocole ultrasonore et le protocole conventionnel, 2 études ont été trouvées.

Dans la première étude, Rashad et al.(72), vont comparer la durée de forage entre le protocole conventionnel et le protocole ultrasonore.

Pour effectuer ces comparaisons, ils traiteront des côtes bovines, idéales pour les expérimentations ex-vivo, en effet cette pièce osseuse présente de nombreuses similitudes avec la mandibule humaine, au niveau de la densité osseuse, du rapport entre l'os cortical et l'os spongieux et la conductivité thermique, d'après Brisman 1996(83), Abouzgia et James 1997(84), Cordioli et Majzoub 1997(21), Davidson et James 2000(85), Ercoli et al. 2004(24), Chacon et al. 2006(25).

Rashad et al. (72) utilisent deux systèmes pour la piezochirurgie : Mectron, et NSK, et utilisera le système Straumann pour la méthode traditionnelle.

Ils ont obtenu les résultats suivants : 78.1 secondes pour le système Mectron ; 56.6 secondes pour le système NSK, contre 13.9 secondes pour la technique conventionnelle; donc, un temps de forage prolongé pour le protocole ultrasonore.

La seconde étude a été établie par Stacchi et al.(71), sur 20 patients.

Ces 20 patients présentent deux édentements adjacents au niveau prémolaire maxillaire, les patients sélectionnés ont entre 41 et 81 ans, avec une moyenne d'âge de 59.7 ans. Chaque patient aura un implant posé par technique piezochirurgicale et un implant posé de manière traditionnelle.

Les implants seront posés sur des sites sains, au moins 6 mois après une extraction sur le même site.

Leur sélection de patients aura été faite après avoir exclu les patients présentant certaines pathologies telles que des troubles de la coagulation, des troubles métaboliques (diabète et troubles osseux), parodontopathies non traitées, les patients fumeurs, toxicomanes, les patients ayant été traités par radiothérapie au niveau cervico-facial, et enfin les patients ayant été traités par biphosphonates en intra-veineuse.

Ils mesureront le temps entre le début de la préparation osseuse, ou forage initial, et l'instant où l'implant a été posé, et constateront une durée moyenne de 6 minutes pour la mise en place d'un implant de manière traditionnelle, et une durée moyenne de 7.15 minutes pour la mise en place d'un implant avec la piezochirurgie.

Le temps de forage implantaire est plus long par protocole ultrasonore que par protocole conventionnel.

## Densité osseuse péri implantaire

---

Di Alberti et al.(70) comparent la densité osseuse péri-implantaire entre des implants posés par technique conventionnelle et des implants posés par technique piézochirurgicale, à différentes périodes: le jour de la pose, à 30 jours, à 60 jours et à 90 jours .

Ils traiteront 40 patients, 22 hommes et 18 femmes, âgés de 38 à 47 ans, avec une moyenne d'âge de 42.5 ans.

Tous les patients sélectionnés sont en bonne santé, et ne prennent pas de traitement pouvant affecter la calcification osseuse.

La totalité de ces patients nécessite au moins 2 implants.

Les implants seront posés sur des sites non pathologiques et au moins 6 mois après extraction dentaire sur le site devant être implanté.

Les implants choisis sont des implants avec une surface sablée et mordancée.

Chaque patient aura au moins un implant positionné avec une technique traditionnelle et un implant posé avec la technique piézoélectrique.

La technique traditionnelle décrite dans l'article est la suivante: une fraise boule pour le pointage initial, et des fraises de diamètre croissant pour la suite de la préparation du site implantaire.

Pour la piézochirurgie, les inserts utilisés sont ceux spécifiques au forage ultrasonore de la marque EMS<sup>®</sup> pour 20 patients et ceux de la marque Mectron<sup>®</sup> pour les 20 autres patients.

Ils analyseront la densité osseuse avec un logiciel d'analyse des radiographies.

Les résultats suivants sont obtenus : le jour de la pose la densité osseuse autour des implants est supérieure pour les implants positionnés avec la technique piezoélectrique (densité osseuse entre 160 et 167 pour les implants posés par piézochirurgie, et densité osseuse entre 135 et 137 pour les implants posés par technique traditionnelle) .

Et à 90 jours de la pose, la densité osseuse est comprise entre 168 et 175 pour les implants posés avec piézochirurgie, et entre 140 et 142 pour ceux posés avec une technique traditionnelle.

Il semblerait donc y avoir une meilleure densité osseuse durant l'ostéointégration pour les implants posés par protocole ultrasonore par rapport aux implants posés avec un protocole de forage conventionnel.

## DISCUSSION

Les progrès et l'évolution en chirurgie implantaire, ainsi que les meilleures connaissances acquises ces dernières années dans la réussite implantaire ont conduit à des modifications dans le protocole de chirurgie implantaire.

Le forage est la première étape dans la mise en place d'un implant. Il s'agit d'un acte simple, mais dont la qualité influencera grandement la réussite de notre implant.

De nombreuses évolutions ont vu le jour en chirurgie implantaire, et notamment l'utilisation d'ultrason pour effectuer le forage implantaire.

Le forage piézoélectrique est une technique basée sur la vibration ultrasonore d'un dispositif ostéotomique qui permet d'obtenir une coupe précise des structures osseuses sans faire de dommages sur les tissus mous adjacents(94). Il s'agit d'une technique très récente, ainsi il n'existe que peu d'études sur le sujet, et la réalisation d'une revue systématique de la littérature scientifique s'avérait donc nécessaire.

L'utilisation d'ultrasons émerge comme une alternative efficace pour le traitement de fractures osseuses complexes et les lésions tissulaires. Les inserts ultrasonores transforment les vibrations à l'extrémité en produisant de l'énergie et de la chaleur(94). Cette énergie dégagée est responsable de l'action coupante, et la chaleur dégagée est réduite avec une irrigation adaptée (72).

Il était important d'analyser les études existantes afin de comparer ce protocole de forage ultrasonore avec les différents autres protocoles déjà existants, sur différents plans tels que la stabilité implantaire, le taux de succès, l'ostéointégration, le taux de survie, le taux de perte osseuse péri-implantaire, le temps et la température de forage.

Le premier facteur que nous avons étudié concerne la stabilité implantaire. Nous n'avons trouvé que 4 études pour analyser ce facteur, et parmi ces 4 études, celle de Baker et al.(78) ne donne que des données relevées le jour de la pose et ne permet de ne comparer que la stabilité primaire entre des implants posés par protocole conventionnel et des implants posés par ultrasons par analyse de la fréquence de résonance.

Ainsi concernant la stabilité primaire, la totalité des études nous apporte des résultats montrant une meilleure stabilité le jour de la pose pour les implants posés par forage conventionnel.

Trois études nous permettant d'évaluer et d'analyser la stabilité secondaire, utilisant le même procédé avec une analyse de la fréquence de résonance, il s'agit des études de Stacchi et al. (71), celle de Canullo et al. (73) et enfin celle de Cano et al.(76) .

Nous obtenons une plus grande stabilité pour les implants posés par piezochirurgie seulement au bout de 90 jours d'après l'étude de Stacchi et al.(71), ou au bout de quelques semaines d'après les études de Canullo et al.(73) et d'après l'étude de Cano et al.(76). Cependant parmi ces 3 études, il n'y a que 2 d'entre elles qui portent sur l'être humain, il s'agit des études de Stacchi et al. (71) et de Canullo et al.(73). Ces 2 études cliniques n'ont été faites que sur peu de patients, 15 pour celle de Canullo et al. (73) et 20 patients pour la seconde étude effectuée par Stacchi et al. (71). Nous pouvons également noter que le recul de ces 4 études n'excède pas 12 semaines pour la plus longue, celle de Canullo et al.(73). Le peu d'études trouvées sur ce sujet, le recul insuffisant et le peu de données cliniques relevées nous conduisent à être vigilants concernant ces résultats.

Le deuxième facteur que nous avons étudié est le taux de succès. Pour étudier ce facteur, nous n'avons trouvé qu'une étude établie par Vercellotti et al. (75), 12 praticiens différents ont été nécessaires pour cette étude, et l'ensemble de ces praticiens n'a pas la même expérience en chirurgie implantaire. Par contre, cette étude a été établie sur beaucoup de patients, 1885 patients, avec quasiment autant de femmes (1009) que d'hommes (876). Les implants ont été posés à la fois au maxillaire et à la mandibule, et les patients présentaient une grande mixité concernant l'âge, entre 19 et 77ans. Le taux de succès relevé dans cette étude est de 97.85%, résultat encourageant, mais trop de praticiens, dont l'expérience en chirurgie implantaire et dont la méthode opératoire n'est pas calibrée n'a pas été précisée dans l'étude.

Concernant la qualité de l'ostéointégration mesurée par l'indice BIC, il n'y a qu'une étude traitant ce sujet qui a été trouvée, il s'agit de l'étude de Stübinger et al. (77). Cette étude a été réalisée chez le mouton, avec un recul maximal de 8 semaines. Le but de cette étude était de comparer l'ostéointégration entre des implants posés par technique LASER, piezochirurgicale, et conventionnelle. La conclusion de cette étude a été que les résultats sont comparables entre les 3 techniques concernant l'ostéointégration précoce, mais cette étude a un recul insuffisant, seulement 8 semaines, et n'a pas été réalisée chez l'homme, les résultats n'auraient pas forcément été identiques chez l'homme.

Puis nous avons analysé les taux de survie relevés pour les implants posés par piezochirurgie. Pour ce facteur, 2 études ont été trouvées, celle de Blus et al. (74) et celle de Vercellotti et al. (75) avec un nombre de patients traités différents, entre les 2 études, 86 patients pour celle de Blus et al. (74) et 1885 patients pour celle de Vercellotti et al. (75). L'âge des patients traités dans les 2 études est très varié, de 19 à 77ans. Cependant, ces études n'avaient pas le même objectif, puisque celle de Blus et al.(74) cherchait à comparer le taux de survie en fonction de l'état du site implanté, si le site présentait une infection chronique, aigue ou aucune infection ; alors que dans la seconde étude, celle de Vercellotti et al.(75) les sites implantés étaient toujours sains. De plus, la première étude, celle de Blus et al. (74) ne donne aucune information concernant le nombre de praticiens ayant posé des implants. Et la période d'observation est assez courte pour les 2 études, 2 ans pour l'étude de Blus et al.(74) et entre 1 et 3ans pour l'étude de Vercellotti et al. (75), cette période d'observation est trop courte pour pouvoir conclure sur un taux de survie satisfaisant.

Le taux de perte osseuse péri implantaire n'est abordé que dans l'étude de Canullo et al.(72), avec une analyse de radiographies rétroalvéolaires pour mesurer ce taux de perte osseuse. Les auteurs en concluent que le taux de perte osseuse est similaire pour les 2 techniques de mise en place d'implants par piezochirurgie ou par forage conventionnel. Cependant, le recul, d'une année, s'avère être insuffisant, et l'unicité de l'étude ne permet pas d'énoncer une conclusion formelle.

Puis nous avons étudié la température de forage, pour cela nous avons pu analyser une étude établie par Rashad et al. (72), où l'expérimentation a été faite sur des côtes bovines. D'après cette étude, en adaptant l'irrigation, on arrive à des résultats similaires. Mais le fait de n'avoir qu'une étude sur ce sujet ne permet pas d'établir une conclusion formelle.

Concernant le temps de forage, nous avons pu nous servir des résultats de 2 études, celle de Stacchi et al. (71) et celle de Rashad et al. (72). Ces 2 études ont montré le même résultat, une chirurgie plus longue avec l'utilisation d'ultrasons pour le forage. Cependant, ces 2 études présentent des différences, notamment sur le sujet étudié, l'étude de Stacchi et al. (71) a été faite chez l'homme et l'étude de Rashad et al. (72) a été faite sur des côtes bovines. Les 2 études ne prennent pas en considération les mêmes paramètres. L'étude de Stacchi et al. (71) compare le temps pour la mise en place d'un implant, en mesurant le temps de préparation du site implantaire. De même d'après l'étude de Rashad et al. (72) on sait que le forage ultrasonore nécessitera 4 inserts différents alors que le forage conventionnel ne nécessitera que 3 forets.

Enfin, nous avons analysé la densité osseuse péri-implantaire grâce à l'étude de Di Alberti et al. (70) établie sur 40 patients. Cette étude nous a menés à la conclusion suivante, on aurait une meilleure densité osseuse durant l'ostéointégration pour les implants posés par protocole ultrasonore par rapport aux implants posés avec un protocole de forage conventionnel. Cependant, cette étude est la seule qui ait étudié ce facteur. De même, nous n'avons aucune information sur la qualité osseuse du site implanté.

On peut noter comme principaux biais tout d'abord un biais de recrutement concernant les sujets d'études, soit en ayant choisi des patients en fonction du site édenté, comme l'étude de Stacchi et al. (71) qui ne traite que des patients ayant besoin de 2 implants au niveau prémolaire. Ou encore l'étude de Canullo et al. (73) qui ne s'intéressera qu'aux patients ayant besoin d'implants au niveau molaire mandibulaire. Et enfin les études de Cano et al. (76) et de Baker et al. (78) qui feront leur expérimentation sur l'animal, donc peut-on adapter leurs résultats à l'homme ?

Le second biais que l'on peut relever est un biais sur le nombre de sujets ayant participé à l'étude, 3 études ont moins de 20 patients, il y a celle de Canullo et al.(73) avec 15 sujets, celle de Cano et al. (76) avec 10 sujets et enfin l'étude de Baker et al.(78) avec 4 sujets. Les résultats relevés dans ces études ont été établis à partir d'un faible échantillon qui n'est pas forcément représentatif de l'ensemble de la population .

On relève également dans certaines études l'absence de groupe de contrôle pour comparer les résultats obtenus à partir de la technique ultrasonore à ceux que l'on aurait relevé avec une technique conventionnelle. On peut citer l'étude de Blus et al. (74) et l'étude de Vercellotti et al. (75).

De nombreuses études ne nous informent pas sur le fait que l'examineur ou celui qui relève les résultats serait différent du chirurgien qui a posé les implants. Sur nos 8 études, il n'y a que celle de Canullo et al. (73) où un autre chirurgien a relevé les résultats.

Enfin, sur nos 8 études, il n'y en a que 2 qui sont réellement randomisées, celle de Stacchi et al. (71) et celle de Canullo et al. (73). Nous n'avons aucune information concernant 2 autres études, celle de Di Alberti et al. (70) et celle de Rashad et al. (72).

L'absence de randomisation ou d'information à ce sujet nous amène à être prudent et à émettre quelques doutes sur la fiabilité des résultats relevés dans ces études.

A partir des études que l'on a trouvées sur le forage ultrasonore, nous avons pu établir certains résultats, sur lesquels nous devons rester vigilants à cause de nombreux biais dans chacune des études.

Nous allons à présent comparer ces résultats obtenus à partir d'études effectuées sur le forage ultrasonore avec d'autres études effectuées avec des méthodes différentes, comme notamment le forage conventionnel.

Concernant la stabilité implantaire, parmi nos études, il n'y a que celle de Canullo et al. (73) qui puisse être comparée avec une autre étude effectuée par Katsoulis et al. (95) sur le forage conventionnel. L'étude de Canullo et al. (73) nous donne les résultats suivants : tout d'abord, le jour de la pose de l'implant pour un forage conventionnel, notre quotient de stabilité implantaire moyen est de 68.5, et pour un forage ultrasonore, notre quotient de stabilité implantaire moyen est de 69. Puis au bout de 12 semaines, pour un forage conventionnel, le quotient de stabilité implantaire moyen mesuré est de 73.8, et pour un forage ultrasonore, notre quotient de stabilité implantaire moyen est de 76.3. L'étude de Katsoulis et al. (95) nous donne les résultats suivants pour un forage conventionnel avec un implant de 13 millimètres de longueur : le jour de la pose, le quotient de stabilité implantaire moyen est de 58.7. Et au bout de 12 semaines, le quotient de stabilité implantaire moyen relevé est de 59.6 .

On remarque ainsi que l'étude de Canullo et al.(73) nous donne un plus grand quotient de stabilité implantaire que l'étude de Katsoulis et al. (95) . Cependant, dans l'étude de Canullo et al. (73) l'implant posé avait une longueur de 12 millimètres. Donc, les résultats ne sont pas à tout à fait comparable, car nous avons 2 longueurs d'implants différentes, mais nous n'avons pas trouvé d'étude avec une longueur d'implant comparable à celle des implants utilisés dans l'étude de Canullo et al.(73).

Pour le taux de succès à présent, l'étude de Vercellotti et al. (74) nous donne un taux de réussite de 97.82% avec la technique ultrasonore. Nous allons comparer ces résultats avec une autre étude établie par Buser et al. (96) sur le forage conventionnel. Buser et al. (96) obtiennent un taux de réussite de 97%.

Ces 2 résultats sont très proches, mais ces 2 études n'ont pas été faites avec les mêmes implants, pour l'étude de Vercelotti et al. (75) les implants utilisés étaient de marques multiples, alors que pour l'étude de Buser et al. (96) il ne s'agissait que d'implants de marque Straumann® .

Concernant l'ostéointégration, nous avons trouvé une autre étude du même auteur que celui pour lequel nous avons pris les résultats sur le forage ultrasonore. Ainsi, d'après l'étude de Stübinger et al.(77) nous avons au bout de la 4<sup>ème</sup> semaine un pourcentage moyen d'ostéointégration de 72.92% pour le forage conventionnel, et de 75.14% pour le forage ultrasonore. Et au bout de 8 semaines, nous avons un pourcentage moyen d'ostéointégration de 57.64% pour le forage conventionnel, et de 55.56% pour le forage ultrasonore. Nous allons comparer ces résultats avec une autre étude du même auteur sur le forage conventionnel, ainsi d'après cette étude de Stübinger et al. (97), nous avons pour la 4<sup>ème</sup> semaine un pourcentage d'ostéointégration de 73.1%. Et au bout de 8 semaines, nous avons un pourcentage d'ostéointégration moyen de 79%. On relève donc une différence importante concernant le taux d'ostéointégration pour la 8<sup>ème</sup> semaine entre ces 2 études, dans la seconde étude l'ostéointégration est

beaucoup plus importante. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que pour la seconde étude, les implants avaient un traitement de surface pour favoriser l'ostéointégration, et les implants posés sont de marques différentes, Camlog® pour la première (77) et Straumann® pour la seconde (97).

On peut ainsi relever des biais concernant le support implanté, il n'y a qu'une étude qui mentionne s'il s'agit de la mandibule ou du maxillaire.

Pour le taux de survie, l'étude réalisée par Blus et al. (74) nous donne sur un an un taux de survie de 97.7% pour la pose d'un implant immédiat par technique ultrasonore après extraction. Pour comparer ces résultats, nous avons trouvé une revue systématique réalisée par Lang et al. (98) qui nous donne un taux de survie de 99.1% sur un an pour la pose d'un implant immédiat par technique conventionnelle. Ces 2 résultats sont très proches, mais on relève néanmoins un plus grand taux de survie pour la technique conventionnelle.

Ainsi, cette revue de littérature met en évidence quelques limites et permet d'émettre des réserves quand l'utilisation du forage ultrasonore dans la préparation du site implantaire. On remarque notamment que le recul est insuffisant pour cette technique, en effet les études les plus anciennes datent d'il y a 4ans (77)(70). Nous n'avons trouvé que peu d'études comparatives entre le protocole conventionnel et le protocole ultrasonore, et peu d'auteurs ont travaillé sur ce protocole.

Il existe également de nombreux biais dans chacune des études.

Nos études utilisées pour la réalisation de cette revue systématique n'ont été faites que sur peu de patients, il n'y a que 3 études qui ont été établies sur plus de 20 patients, celle de Di Alberti et al. (70) avec 40 patients, celle de Blus et al. (74) sur 86 patients et celle de Vercellotti et al. (75) sur 1885 patients.

Les systèmes utilisés pour le forage ultrasonore sont essentiellement de la marque Mectron, il s'agit du système Piezosurgery®, utilisé dans 5 études parmi les 8 utilisées pour la réalisation de notre revue systématique. C'est le cas pour l'étude de Di Alberti et al. (70), pour l'étude de Stacchi et al.(71), pour l'étude de Rashad et al.(72), pour l'étude de Vercellotti et al. (75) et enfin pour l'étude de Baker et al.(78)

Concernant la possibilité d'un conflit d'intérêts, les études de Vercellotti et al. (75), de Blus et al.(74), de Rashad et al.(72), de Stacchi et al. (71) précisent qu'il n'y a eu aucun conflit d'intérêts pour la réalisation de leurs études.

On relève une hétérogénéité statistique liée aux études, cela concerne la différence entre les populations, l'effectif d'étude n'est pas le même pour chacune des études. On peut aussi se poser la question de l'origine des études, de nombreuses études sont italiennes, avec le même système de forage, il peut y avoir un possible conflit d'intérêts puisque le groupe Mectron est italien.

On relève également des biais dans la méthodologie, il s'agit de petites études, avec de nombreux manques d'information, on ne relève pas d'évaluation en aveugle, toutes les études n'abordent pas le problème du nombre de perdus de vue. On ne sait également pas si l'étude était faite en intention de traiter ou non, et les critères de jugement sont insuffisants, la durée des études est inhomogène, elles vont de quelques semaines à quelques années, la durée des études est également assez courte car technique récente, les complications et les échecs ont –ils été bien rapportés et bien définis.

Le forage ultrasonore semble donc être une alternative intéressante pour la mise en place d'implants, on obtiendrait des résultats similaires, voire de meilleurs résultats. Mais il n'y a pas assez d'études publiées à ce jour sur ce sujet, et un recul insuffisant pour celles que l'on a étudiées pour véritablement conclure de la supériorité de ce protocole de forage par rapport au protocole conventionnel. Cependant, ce protocole ultrasonore peut être utilisé sans risque. L'intérêt réel de cette méthode par rapport au forage conventionnel reste encore à démontrer.

## B I B L I O G R A P H I E

1. **Ravald N, Dahlgren S, Teiwick A, Gröndahl K.** *Long-term evaluation of Astra Tech and Brånemark implants in patients treated with full-arch bridges. Results after 12-15 years.* Clin Oral Implants Res, oct 2013. 24(10): p. 1144-1151.
2. **Lang NP, Ptjetursson BE, Tank K, Brägger U, Egger M, Zwahlen M.** *A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years. II. Combined tooth-implant-supported FPDs.* Clin Oral Implants Res, 2004. 15: p. 643-653.
3. **Brånemark PI, Zarb GA, Albrektsson T.** *Tissue integrated protheses: osseointegration in clinical dentistry.* Chic Quintessence Publ Co, 1985.
4. **Albrektsson T, Zarb GA.** *The Branemark osseointegrated implant.* Chic Quintessence Pub Co, 1989.
5. **Shrikar RD, Rika S, Karthikeyan I.** *2D FEA of evaluation of micromovements and stresses at bone-implant interface in immediately loaded tapered implants in the posterior maxilla.* J Indian Soc Periodontol, oct 2013. 17(5): p. 637-643.
6. **Szmukler-Moncler S, Salama H, Reingewirtz Y, Dubruille JH.** *Timing of loading and effect of micromotion on bone- dental implant interface: review of experimental literature.* J Biomed Mater Res, 1998. 43: p. 192-203.
7. **Leucht P, Kim JB, Wazen R.** *Effect of mechanical stimuli on skeletal regeneration around implants.* Bone, 2007. 40: p. 910-930.
8. **Alberktson T, Branemark PI, Hansson HA and Lindstrom J.** *Osseointegrated Titanium Implants: requirements for ensuring a long lasting, direct bone to implant anchorage in man.* Acto Orthop Scand , 1981. 52: p. 155-170.
9. **Raghavendra S, Wood MC, Taylor TD.** *Early wound healing around endosseous implants: a review of the literature.* Int J Oral Maxillofac Implants, 2005. 20: p. 425-431.
10. **Lossdörfer S, Schwartz Z, Wang L, Lohmann CH, Turner JD, Wieland M, et al.** *Microrough implant surface topographies increase osteogenesis by reducing osteoclast formation and activity.* J Biomed Mater Res A, 2004. 70: p. 361-369.
11. **Sul YT, Kang BS, Johansson C, Um HS, Park CJ, Albrektsson T.** *The roles of surface chemistry and topography in the strength and rate of osseointegration of titanium implants in bone.* J Biomed Mater Res A, 2009. 89: p. 942-950.
12. **Kim HJ, Kim SH, Kim MS, Lee EJ, Oh HG, Oh WM et al.** *Varying Ti-6Al-4V surface roughness induces different early morphologic and molecular responses in MG63 osteoblast-like cells.* J Biomed Mater Res A, 2005. 74: p. 366-373.
13. **Wennerberg A, Albrektsson T.** *Effects of titanium surface topography on bone integration: a systematic review.* Clin Oral Implants Res, 2009. 20(4): p. 172-184.

14. **Mendonça G, Mendonça DB, Aragão FJ, Cooper LF.** *Advancing dental implant surface technology – from micron-nanotopography.* *Biomaterials*, 2008. 29: p. 3822-3835.
15. **Orsini G, Piattelli M, Scarano A, Petrone G, Kenealy J, Piattelli A et al.** *Randomized, controlled histologic and histomorphometric evaluation of implants with nanometer-scale calcium phosphate added to the dual acid-etched surface in the human posterior maxilla.* *J Periodontol*, 2007. 78: p. 209-218.
16. **Goené RJ, Testori T, Trisi P.** *Influence of a nanometer-scale surface enhancement on de novo bone formation on titanium implants: a histomorphometric study in human maxillae.* *Int J Periodontics Restor Dent*, 2007. 27: p. 211-219.
17. **Oates TW, Valderrama P, Bischof M, Nedir R, Jones A, Simpson J et al.** *Enhanced implant stability with a chemically modified SLA surface: a randomized pilot study.* *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2007. 22: p. 755-760.
18. **Cooper LF, Zhou Y, Takebe J, Guo J, Abron A, Holmén A et al.** *Fluoride modification effects on osteoblast behavior and bone formation at TiO<sub>2</sub> grit-blasted c.p. titanium endosseous implants.* *Biomaterials*, 2006. 27: p. 926-936.
19. **Berglundh T, Abrahamsson I, Albouy JP, Lindhe J.** *Bone healing at implants with a fluoride-modified surface: an experimental study in dogs.* *Clin Oral Implants Res*, 2007. 18: p. 147-152.
20. **Meirelles L, Currie F, Jacobsson M, Albrektsson T, Wennerberg A.** *The effect of chemical and nanotopographical modifications on the early stages of osseointegration.* *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2008. 23: p. 641-647.
21. **Cordioli G, Majzoub Z.** *Heat generation during implant site preparation: an in vitro study.* *Int J Oral Maxillofac Implants*, 1997. 12: p. 186-193.
22. **Tehemar SH.** *Factors affecting heat generation during implant site preparation: a review of biologic observations and future considerations.* *Int J Oral Maxillofac Implants*, 1999. 14: p. 127-136.
23. **Benington IC, Biagioni PA, Briggs J, Sheridan S, Lamey PJ.** *Thermal changes observed at implant sites during internal and external irrigation.* *Clin Oral Implants Res*, 2002. 13: p. 293-297.
24. **Ercoli C, Funkenbusch PD, Lee HJ, Moss ME, Graser GN.** *The influence of drill wear on cutting efficiency and heat production during osteotomy preparation for dental implants: a study of drill durability.* *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2004. 19: p. 335-349.
25. **Chacon GE, Bower DL, Larsen PE, McGlumphy EA, Beck FM.** *Heat production by 3 implant drill systems after repeated drilling and sterilization.* *J Oral Maxillofac Surg*, 2006. 64: p. 265-269.
26. **Blanco J, Suárez J, Novio S, Villaverde G, Ramos I, Segade LA.** *Histomorphometric assessment in human cadavers of the peri-implant bone density in maxillary tuberosity following implant placement using osteotome and conventional techniques.* *Clin Oral Implants Res*, 2008. 19: p. 505-510.
27. **Rambla-Ferrer J, Peñarrocha-Diago M, Guarinos-Carbó J.** *Analysis of the use of expansion osteotomes for the creation of implant beds. Technical contributions and review of the literature.* *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 2006. 11: p. 267-271.

28. **Summers RB.** *A new concept in maxillary implant surgery: the osteotome technique.* Compendium, 1994. 15: p. 152, 154- 156, 158.
29. **Horton JE, Tarpley Jr. TM, Jacoway JR.** *Clinical applications of ultrasonic instrumentation in the surgical removal of bone.* Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1981. 51: p. 236-242.
30. **Vercellotti T.** *Piezoelectric surgery in implantology: a case report a new piezoelectric ridge expansion technique.* Int J Periodontics Restorative Dent 20<sup>e</sup> éd, 2000. p. 358-365.
31. **Leclercq P, Zenati C, Amr S, Dohan DM.** *Ultrasonic bone cut: a state of the art. Part 1: technologies and common applications.* J Oral Maxillofac Surg, 2008. 66: p. 177-182.
32. **Lynn JG, Zwemer RL, Chick AJ.** *The biological application of focused ultrasonic waves.* Science, 1942. 96: p. 119-120.
33. **Walmsley AD.** *Ultrasonic and sonic scalers.* Br Dent Surg Assist, 1989. 48: p. 26-28.
34. **Smith BJ.** *Removal of fractured posts using ultrasonic vibration: an in vivo study.* J Endod, 2001. 27: p. 632-634.
35. **Peñarrocha M, Martí E, García B, Gay C.** *Relationship of peri- apical lesion radiologic size, apical resection, and retrograde filling with the prognosis of periapical surgery.* J Oral Maxillofac Surg, 2007. 65: p. 1526-1529.
36. **Walmsley AD, Laird WR, Lumley PJ.** *Ultrasound in dentistry part 2—periodontology and endodontics.* J Dent, 1992. 20: p. 11-17.
37. **Ward JR, Parashos P, Messer HH.** *Evaluation of an ultrasonic technique to remove fractured rotary nickel-titanium endodontic instruments from root canals: an experimental study.* J Endod, 2003. 29: p. 756-763.
38. **Mulligan ED, Lynch TH, Mulvin D, Greene D, Smith JM, Fitzpatrick JM.** *High-intensity focused ultrasound in the treatment of benign prostatic hyperplasia.* Br J Urol, 1997. 79: p. 177-180.
39. **Chapelon JY, Ribault M, Vernier F, Souchon R, Gelet A.** *Treatment of localised prostate cancer with transrectal high intensity focused ultrasound.* Eur J Ultrasound, 1999. 9: p. 31-38.
40. **Kennedy JE, Ter Haar GR, Cranston D.** *High intensity focused ultrasound: surgery of the future?* Br J Radiol, 2003. 76: p. 590-599.
41. **Shelley ED, Shelley WB.** *Piezosurgery: a conservative approach to encapsulated skin lesions.* Cutis, 1986. 38: p. 123-126.
42. **Lee SJ, Park KH.** *Ultrasonic energy in endoscopic surgery.* Yonsei Med J, 1999. 40: p. 545-549.
43. **Sherman JA, Davies HT.** *Ultracision: the harmonic scalpel and its possible uses in maxillofacial surgery.* Br J Oral Maxillofac Surg, 2000. 38: p. 530-532.
44. **Horton JE, Tarpley TM Jr, Wood LD.** *The healing of surgical defects in alveolar bone produced with ultrasonic instrumentation, chisel, and rotary bur.* Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 1975. 39: p. 536-546.

45. **Torrella F, Pitarch J, Cabanes G, Anitua E.** *Ultrasonic osteotomy for the surgical approach of the maxillary sinus: a technical note.* Int J Oral Maxillofac Implants, 1998. 13: p. 697-700.
46. **Stübinger S, Kuttenger J, Filippi A, Sader R, Zeilhofer HF.** *Intraoral piezosurgery: preliminary results of a new technique.* J Oral Maxillofac Surg, 2005. 63: p. 1283-1287.
47. **Kotrikova B, Wirtz R, Krempien R, Blank J, Eggers G, Samiotis A, et al.** *Piezosurgery—a new safe technique in cranial osteoplasty?* Int J Oral Maxillofac Surg, 2006. 35: p. 461-465.
48. **Hoigne DJ, Stübinger S, Von Kaenel O, Shamdasani S, Hasen-Boehler P.** *Piezoelectric osteotomy in hand surgery: first experiences with a new technique.* BMC Musculoskelet Disord, 2006. p. 7-36.
49. **Salami A, Dellepiane M, Mora F, Crippa B, Mora R.** *Piezosurgery in the cochleostomy through multiple middle ear approaches.* Int J Pediatr Otorhinolaryngol, 2008. 72: p. 653-657.
50. **Vercellotti T, de Paoli S, Nevins M.** *The piezoelectric bony window osteotomy and sinus membrane elevation: introduction of a new technique for simplification of the sinus augmentation procedure.* J Periodontics Restor Dent, 2001. 21: p. 561-567.
51. **Blus C, Szmukler-Moncler S, Salama M, Salama H, Garber D.** *Sinus bone grafting procedures using ultrasonic bone surgery: 5-year experience.* Int J Periodontics Restor Dent, 2008. 28: p. 221-229.
52. **Schlee M, Steigmann M, Bratu E, Garg AK.** *Piezosurgery: basics and possibilities.* Implant Dent, 2006. 15(4): p. 334-340.
53. **Stübinger S, Landes C, Seitz O, Zeilhofer HF, Sader R.** *Ultrasonic bone cutting in oral surgery: a review of 60 cases.* Ultraschall Med, 2008. 29: p. 66-71.
54. **Vercellotti T, Pollack AS.** *A new bone surgery device: sinus grafting and periodontal surgery.* Compend Contin Educ Dent, 2006. 27: p. 319-325.
55. **Alvarenga EC, Rodrigues R, Caricati-Neto A, Silva-Fihlo FC, Paredes-Gamero EJ, Ferreira AT.** *Low-intensity pulsed ultrasound-dependent osteoblast proliferation occurs by via activation of the P2Y receptor: role of the P2Y(1) receptor.* Bone, 2009. p. 355-362.
56. **Rutten S, Nolte PA, Korstjens CM, Klein-Nulend J.** *Low-intensity pulsed ultrasound affects RUNX2 immunopositive osteogenic cells in delayed clinical fracture healing.* Bone, 2009. 45: p. 862-869.
57. **Ramli R, Reher P, Harris M, Meghji S.** *The effect of ultrasound on angiogenesis: an in vitro study using the chick chorioallantoic membrane.* Int J Oral Maxillofac Implants, 2009. 24: p. 591-596.
58. **Scheven BA, Shelton RM, Cooper PR, Walmsley AD, Smith AJ.** *Therapeutic ultrasound for dental tissue repair.* Med Hypotheses, 2009. p. 591-593.
59. **Wallace SS, Mazor Z, Froum SJ, Cho SC, Tarnow DP.** *Schneiderian membrane perforation rate during sinus elevation using piezosurgery: clinical results of 100 consecutive cases.* Int J Periodontics Restor Dent, 2007. 27: p. 413-419.
60. **Nordera P, Spanio di Spilimbergo S, Stenico A, Fornezza U, Volpin L, Padula E.** *The cutting-edge technique for safe osteotomies in craniofacial surgery: the piezosurgery bone scalpel.* Plast Reconstr Surg, 2007. 120: p. 1989-1995.

61. **Schaeren S, Jaquiéry C, Heberer M, Tolnay M, Vercellotti T, Martin I.** *Assessment of nerve damage using a novel ultrasonic device for bone cutting.* J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg, mars 2008. 66(3): p. 593-596.
62. **Stacchi C, Costantinides F, Biasotto M, Di Lenarda R.** *Relocation of a malpositioned maxillary implant with piezoelectric osteotomies: a case report.* Int J Periodontics Restor Dent, 2008. 28: p. 489-495.
63. **Beziat JL, Vercellotti T, Gleizal A.** *What is Piezosurgery? Two-years experience in craniomaxillofacial surgery.* Rev Stomatol Chir Maxillofac, avr 2007. 108(2): p. 101-107.
64. **Degerliyurt K, Akar V, Denizci S, Yucel E.** *Bone lid technique with piezosurgery to preserve inferior alveolar nerve.* Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2009. 108: p. 1-5.
65. **Bovi M, Manni A, Mavriqi L, Bianco G, Celletti R.** *The use of piezosurgery to mobilize the mandibular alveolar nerve followed immediately by implant insertion: a case series evaluating neurosensory disturbance.* Int J Periodontics Restor Dent, 2010. 30: p. 73-81.
66. **Salami A, Dellepiane M, Crippa B, Mora R.** *A new method for osteotomies in oncologic nasal surgery: Piezosurgery.* Am J Otolaryngol, 2010.
67. **Preti G, Martinasso G, Peirone B, Navone R, Manzella C, Muzio G et al.** *Cytokines and growth factors involved in the osseointegration of oral titanium implants positioned using piezoelectric bone surgery versus a drill technique: a pilot study in minipigs.* J Periodontol, 2007. 78: p. 716-722.
68. **Vercellotti T, Nevins ML, Kim DM, Nevins M, Wada K, Schenk RK et al.** *Osseous response following resective therapy with piezosurgery.* Int J Periodontics Restor Dent, 2005. 25: p. 543-549.
69. **Stacchi C, Bonino M, Di Lenarda R.** *Surgical relocation of a malpositioned, unserviceable implant protruding into the maxillary sinus cavity. A clinical report.* J Oral Implant, 2010.
70. **Di Alberti L, Donnini F, Di Alberti C, Camerino M.** *A comparative study of bone densitometry during osseointegration: piezoelectric surgery versus rotary protocols.* Quintessence Int Berl Ger, sept 2010. 41(8): p. 639-644.
71. **Stacchi C, Vercellotti T, Torelli L, Furlan F, Di Lenarda R.** *Changes in implant stability using different site preparation techniques: twist drills versus piezosurgery. A single-blinded, randomized, controlled clinical trial.* Clin Implant Dent Relat Res, avr 2013. 15(2): p. 188-197.
72. **Rashad A, Kaiser A, Prochnow N, Schmitz I, Hoffmann E, Maurer P.** *Heat production during different ultrasonic and conventional osteotomy preparations for dental implants.* Clin Oral Implants Res, déc 2011. 22(12): p. 1361-1365.
73. **Canullo L, Peñarrocha D, Peñarrocha M, Rocio AG, Penarrocha-Diago M.** *Piezoelectric vs. conventional drilling in implant site preparation: pilot controlled randomized clinical trial with crossover design.* Clin Oral Implants Res, 21 oct 2013.
74. **Blus C, Szmukler-Moncler S, Khoury P, Orrù G.** *Immediate Implants Placed in Infected and Noninfected Sites after Atraumatic Tooth Extraction and Placement with Ultrasonic Bone Surgery.* Clin Implant Dent Relat Res, 30 juill 2013.

75. **Vercellotti T, Stacchi C, Russo C, Rebaudi A, Vincenzi G.** *Ultrasonic Implant site preparation using piezosurgery: a multicenter case series study analyzing 3579 implants with a 1- to 3-Year Follow-Up.* Quintessence Int Berl Ger, 2014. 34(1).
76. **Cano J, Campo J.** *Bone implant sockets made using three different procedures: a stability study in dogs.* Clin Exp Dent, 2012. 4(4): p. 217-220.
77. **Stübinger S, Biermeier K, Bächli B, Ferguson SJ, Sader R, Von Rechenberg B.** *Comparison of Er:YAG Laser, Piezoelectric, and Drill Osteotomy for Dental Implant Site Preparation: A Biomechanical and Histological Analysis in Sheep.* Lasers Surg Med, 2010. 42: p. 652-661.
78. **Baker JA, Vora S, Bairam L, Kim HI, Davis EL, Andreana S.** *Piezoelectric vs. conventional implant site preparation: ex vivo implant primary stability.* Clin Oral Impl Res, 2012. 23: p. 433-437.
79. **Meredith N, Alleyne D, Cawley P.** *Quantitative determination of the stability of the implant-tissue interface using resonance frequency analysis.* Clin Oral Implants Res, 1996. 7: p. 261-267.
80. **Buser D, Mericske-Stern R, Dula K, Lang NP.** *Clinical experience with one-stage, non-submerged dental implants.* Adv Dent Res, 1999. p. 153-161.
81. **Buser D, Mericske-Stern R, Bernard JP, Behneke A, Behneke N, Hirt HP et al.** *Long-term evaluation of non-submerged ITI implants. Part 1: 8-year life table analysis of a prospective multi-center study with 2359 implants.* Clin Oral Implants Res, 1997. 8: p. 161-172.
82. **Cochran DL, Buser D, ten Bruggenkate CM, Weingart D, Taylor TM, Bernard JP, et al.** *The use of reduced healing times on ITIs implants with a sandblasted and etched (SLA) surface: early results from clinical trials on ITI SLA implants.* Clin Oral Implants Res, 2002. 13: p. 144-153.
83. **Brisman DL.** *The effect of speed, pressure, and time on bone temperature during the drilling of implant sites.* Int J Oral Maxillofac Implants, 1996. 11: p. 35-37.
84. **Abouzia MB, James DF.** *Temperature rise during drilling through bone.* Int Journal Oral Maxillofac Implants, 1997. 12: p. 342-353.
85. **Davidson SR, James DF.** *Measurement of thermal conductivity of bovine cortical bone.* Med Eng Phys, 2000. 22: p. 741-747.
86. **Eriksson RA, Albrektsson T, Magnusson B.** *Assessment of bone viability after heat trauma. A histological, histochemical and vital microscopic study in the rabbit.* Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg, 1984. 18: p. 261-268.
87. **Eriksson AR, Albrektsson T.** *Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: a vital-microscopic study in the rabbit.* J Prosthet Dent, 1983. 50: p. 101-107.
88. **Eriksson RA, Albrektsson T.** *The effect of heat on bone regeneration: an experimental study in the rabbit using the bone growth chamber.* Int J Oral Maxillofac Surg, 1984. 42: p. 705-711.
89. **Iyer S, Weiss C, Mehta A.** *Effects of drill speed on heat production and the rate and quality of bone formation in dental implant osteotomies. Part II: relationship between drill speed and healing.* Int J Prosthodont, 1997. 10: p. 536-540.

90. **Sharawy M, Misch CE, Weller N, Tehemar S.** *Heat generation during implant drilling: the significance of motor speed.* Int J Oral Maxillofac Surg, 2002. 60: p. 1160-1169.
91. **Bachus KN, Rondina MT, Hutchinson DT.** *The effects of drilling force on cortical temperatures and their duration: an in vitro study.* Med Eng Phys, 2000. 22: p. 685-691.
92. **Eriksson AR, Albrektsson T, Albrektsson B.** *Heat caused by drilling cortical bone. Temperature measured in vivo in patients and animals.* Acta Orthop Scand, 1984. 55: p. 629-631.
93. **Sener BC, Dergin G, Gursoy B, Kelesoglu E, Slih I.** *Effects of irrigation temperature on heat control in vitro at different drilling depths.* Clin Oral Implants Res, 2009. 20: p. 294-298.
94. **Vercellotti T.** *La chirurgia ossea piezoelettrica.* Dent Mod, 2003.5: p. 21-55.
95. **Katsoulis J, Avrampou M, Spycher C, Stipic M, Enkling N, Mericske-Stern R.** *Comparison of Implant Stability by Means of Resonance Frequency Analysis for Flapless and Conventionally Inserted Implants: RFA for Flapless Inserted Implants.* Clin Implant Dent Relat Res, déc 2012. 14(6): p. 915-923.
96. **Buser D, Janner SFM, Wittneben JG, Brägger U, Ramseier CA, Salvi GE.** *10-Year Survival and Success Rates of 511 Titanium Implants with a Sandblasted and Acid-Etched Surface: A Retrospective Study in 303 Partially Edentulous Patients: 10-Year Survival and Success Rates of SLA Implants.* Clin Implant Dent Relat Res, déc 2012. 14(6): p. 839-851.
97. **Stübinger S, Ernst S, Sidler M, Schüpbach P, Ferguson S, Nuss K.** *Biocompatibility testing of titanium dental implants in the pelvic model in sheep: comparison of two implant surface modifications on implants with an identical shape and geometry.* 2011. POSTER N° 1045.
98. **Lang NP, Pun L, Lau KY, Li KY, Wong MCM.** *A systematic review on survival and success rates of implants placed immediately into fresh extraction sockets after at least 1 year.* Clin Oral Impl Res, 2012. 23: p. 39-66.

Vu, Le Président du Jury,

Date, Signature :

Vu, le Directeur de l'UFR des Sciences Odontologiques,

Date, Signature :

Vu, le Président de l'Université de Bordeaux ,

Date, Signature :

# Serment

En présence de mes Maîtres et de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de l'art dentaire.

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un honoraire au-dessus de mon travail. Ma langue taira les secrets qui me seront confiés. Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe.

Mes connaissances et mon état ne serviront ni à diffuser des propos non avérés, ni à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des conditions de croyance, de nation et de race viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Je promets et je jure de conformer strictement ma conduite professionnelle aux principes et aux règles prescrites par le code de déontologie.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné de jouir heureusement de la vie et de ma profession, honoré à jamais parmi les hommes. Si je le viole et que je me parjure, puissé-je avoir un sort contraire.



**Discipline : Implantologie****Forage ultrasonore en implantologie :  
Intérêts, indications et limites.  
Revue systématique de la littérature****Résumé**

**Objectif** Déterminer s'il existe un réel intérêt à l'utilisation d'ultrasons pour la réalisation du forage implantaire.

**Matériel et méthode** Revue systématique de la littérature scientifique sur le forage ultrasonore.

**Résultats** A partir de 88 articles, 9 études scientifiques ont été sélectionnées pour notre revue systématique (5 études cliniques, 2 études In Vivo, 1 étude Ex Vivo et 1 étude In Vitro).

Pour le forage ultrasonore, nous relevons : concernant la stabilité implantaire, de meilleurs résultats au bout de quelques semaines ; un taux de succès de 97.85% ; des résultats comparables concernant l'ostéointégration précoce ; un taux de survie de 97.74% ; un taux de perte osseuse similaire à celui obtenu avec la technique conventionnelle ; ainsi qu'une meilleure densité osseuse au niveau du site implantaire. Cependant, la durée de forage a été augmentée, ainsi que la température au niveau du site de forage.

**Conclusion** Le forage ultrasonore semble donc être une alternative intéressante pour la mise en place d'implants, mais les études sur le sujet ne sont pas assez nombreuses pour conclure sur une véritable supériorité de ce protocole .

**Mots-clés**

Ostéointégration – Ostéotomie – Implant dentaire – Piezochirurgie – Chirurgie orale

**Piezoelectric implant site preparation:  
Interests, Indications and Limits.  
Systematic review of the literature****Summary**

**Objective** : Determine whether there is a real interest in the use of ultrasound for the implant osteotomy.

**Material and methods** : A systematic review of the scientific literature on the ultrasonic drilling.

**Results** : From 88 articles, nine scientific studies have been selected for our systematic review (5 clinical studies, 2 In Vivo studies, 1 Ex Vivo Study and 1 In Vitro Study).

For ultrasonic drilling, we note: for the implant stability, better results in a few weeks; a success rate of 97.85%; comparable results of early osseointegration; a survival rate of 97.74%; Peri-implant marginal bone loss similar to that obtained with the conventional osteotomy; and improved bone density at the implant site. However, the length of drilling has been increased, and also the temperature at the drill site .

**Conclusion** : The ultrasonic drilling seems to be an interesting alternative for the development of implants, but there are not enough studies on the subject to conclude a real superiority of this protocol.

**Key-words**

Osseointegration – Osteotomy – Dental Implant – Piezosurgery – Oral Surgery