

UNIVERSITE TOULOUSE III - PAUL SABATIER
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNEE 2014

2014 TOU3 3035

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

Philippe DE SABOULIN BOLLENA

le 07 octobre 2014

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DU TAUX D'ECHEC DES MINI-VIS D'ANCRAGE
ORTHODONTIQUE ET RECHERCHE DES FACTEURS DE RISQUE : ANALYSE
CLINIQUE RETROSPECTIVE**

Directeur de thèse : Docteur Pascal BARON

JURY

Président :	Professeur Michel SIXOU
1er assesseur :	Docteur Pascal BARON
2ème assesseur :	Docteur Sarah COUSTY
3ème assesseur :	Docteur Patricia OBACH-DEJEAN



**UNIVERSITÉ
TOULOUSE III**
PAUL SABATIER



Université
de Toulouse

UNIVERSITE TOULOUSE III - PAUL SABATIER
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNEE 2014

2014 TOU3 3035

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

Philippe DE SABOULIN BOLLENA

le 07 octobre 2014

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DU TAUX D'ECHEC DES MINI-VIS D'ANCRAGE
ORTHODONTIQUE ET RECHERCHE DES FACTEURS DE RISQUE : ANALYSE
CLINIQUE RETROSPECTIVE**

Directeur de thèse : Docteur Pascal BARON

JURY

Président :	Professeur Michel SIXOU
1er assesseur :	Docteur Pascal BARON
2ème assesseur :	Docteur Sarah COUSTY
3ème assesseur :	Docteur Patricia OBACH-DEJEAN



**UNIVERSITÉ
TOULOUSE III**
PAUL SABATIER



Université
de Toulouse

➔ DIRECTION

ADMINISTRATEUR PROVISOIRE

Mr Hugues CHAP

ASSESEURS DU DOYEN

• **ENSEIGNANTS** :

Mme GRÉGOIRE Geneviève

Mr CHAMPION Jean

Mr HAMEL Olivier

Mr POMAR Philippe

• **PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE**

Mme GRIMOUD Anne-Marie

• **ÉTUDIANT** :

Mr HAURET-CLOS Mathieu

CHARGÉS DE MISSION

Mr PALOUDIER Gérard

Mr AUTHER Alain

RESPONSABLE ADMINISTRATIF

Mme GRAPELOUP Claude

➔ HONORARIAT

DOYENS HONORAIRES

Mr LAGARRIGUE Jean †

Mr LODTER Jean-Philippe

Mr PALOUDIER Gérard

Mr SOULET Henri

➔ ÉMÉRITAT

Mme GRÉGOIRE Geneviève

Mr PALOUDIER Gérard

➔ PERSONNEL ENSEIGNANT

56.01 PÉDODONTIE

Chef de la sous-section :

Mr VAYSSE

Professeur d'Université :

Mme BAILLEUL-FORESTIER

Maîtres de Conférences :

Mme NOIRRIT-ESCLASSAN, Mr VAYSSE

Assistants :

Mr DOMINÉ, Mme GÖTTLE

Chargés d'Enseignement :

Mme BACQUÉ, Mr TOULOUSE

56.02 ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE

Chef de la sous-section :

Mr BARON

Maîtres de Conférences :

Mr BARON, Mme LODTER, Mme MARCHAL-SIXOU, Mr ROTENBERG,

Assistants :

Mme ELICEGUI, Mme OBACH-DEJEAN, Mr PUJOL

Chargés d'Enseignement :

Mr GARNAULT, Mme MECHRAOUI, Mr MIQUEL

56.03 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE

Chef de la sous-section :

Mr HAMEL

Professeur d'Université :

Mme NABET, Mr PALOUDIER, Mr SIXOU

Maître de Conférences :

Mr HAMEL, Mr VERGNES

Assistant :

Mlle BARON

Chargés d'Enseignement :

Mr DURAND, Mr PARAYRE

57.01 PARODONTOLOGIE

Chef de la sous-section : **Mr BARTHET**

Maîtres de Conférences : Mr BARTHET, Mme DALICIEUX-LAURENCIN

Assistants : Mr MOURGUES, Mme VINEL

Chargés d'Enseignement : Mr. CALVO, Mr LAFFORGUE, Mr PIOTROWSKI, Mr SANCIER

57.02 CHIRURGIE BUCCALE, PATHOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE, ANESTHÉSIOLOGIE ET RÉANIMATION

Chef de la sous-section : **Mr CAMPAN**

Professeur d'Université : Mr DURAN

Maîtres de Conférences : Mr CAMPAN, Mr COURTOIS, Mme COUSTY

Assistants : Mme BOULANGER, Mme CROS, Mr EL KESRI

Chargés d'Enseignement : Mr FAUXPOINT, Mr GANTE, Mr L'HOMME, Mme LABADIE, Mr PLANCHAND, Mr SALEFRANQUE

57.03 SCIENCES BIOLOGIQUES (BIOCHIMIE, IMMUNOLOGIE, HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE, GÉNÉTIQUE, ANATOMIE PATHOLOGIQUE, BACTÉRIOLOGIE, PHARMACOLOGIE

Chef de la sous-section : **Mr KÉMOUN**

Professeurs d'Université : Mme DUFFAUT

Maîtres de Conférences : Mme GRIMOUD, Mr KEMOUN, Mr POULET

Assistants : Mr BARRAGUÉ, Mme DUBOSC, Mme PESUDO, Mme SOUBIELLE

Chargés d'Enseignement : Mr BARRÉ, Mr SIGNAT, Mme VALERA

58.01 ODONTOLOGIE CONSERVATRICE, ENDODONTIE

Chef de la sous-section : **Mr GUIGNES**

Maîtres de Conférences : Mr DIEMER, Mr GUIGNES, Mme GURGEL-GEORGELIN, Mme MARET-COMTESSE

Assistants : Mr ARCAUTE, Mlle DARDÉ, Mme DEDIEU, Mme DUEYMES, Mr MICHETTI

Chargés d'Enseignement : Mr BALGUERIE, Mlle BORIES, Mr ELBEZE, Mr MALLET, Mlle PRATS,

58.02 PROTHÈSES (PROTHÈSE CONJOINTE, PROTHÈSE ADJOINTE PARTIELLE, PROTHÈSE COMPLÈTE, PROTHÈSE MAXILLO-FACIALE)

Chef de la sous-section : **Mr CHAMPION**

Professeurs d'Université : Mr ARMAND, Mr POMAR

Maîtres de Conférences : Mr BLANDIN, Mr CHAMPION, Mr ESCCLASSAN, Mme VIGARIOS

Assistants : Mr CHABRERON, Mr DESTRUHAUT, Mr GALIBOURG, Mr HOBEILAH, Mr KNAFO

Chargés d'Enseignement : Mr ABGRALL, Mr FLORENTIN, Mr FOLCH, Mr GHRENASSIA, Mme LACOSTE-FERRE, Mme LASMOLLES, Mr LUCAS, Mr MIR, Mr POGÉANT, Mr RAYNALDY

58.03 SCIENCES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES, OCCLUSODONTIQUES, BIOMATÉRIAUX, BIOPHYSIQUE, RADIOLOGIE

Chef de la sous-section : **Mme JONIOT**

Professeur d'Université : Mme GRÉGOIRE

Maîtres de Conférences : Mme JONIOT, Mr NASR

Assistants : Mr CANIVET, Mme GARNIER, Mr MONSARRAT

Chargés d'Enseignement : Mr AHMED, Mme BAYLE-DELANNÉE, Mme MAGNE, Mr TREIL, Mr VERGÉ

*L'université Paul Sabatier déclare n'être pas responsable des opinions émises par les candidats.
(Délibération en date du 12 Mai 1891).*

Mise à jour au 1^{er} septembre 2014

A Stéphanie,

*Merci de ton soutien toutes ces années sans lequel je ne serai pas là aujourd'hui.
Merci d'être la femme et la mère que tu es.
Avec tout mon amour.*

A ma mère et mes sœurs,
Votre parcours à chacune est source d'inspiration. Mes récitations téléphoniques du WE pour les sciences humaines n'auront pas été vaines ! Merci d'avoir toujours été là. Prenez bien soin de vous.

A Manu,
Tu sais ce que les mots « travail » et « sacrifice » signifient. Tes valeurs et tes principes sont un bel exemple. J'espère être plus disponible !

Aux marseillais,
Grand merci à Daniel et Adrien ! Immense merci à Olivier, « OdF », et Anne Badolato grâce à qui je suis en ODF. Merci à Loïc, Christelle et Maxime.

Aux toulousains,
Merci à Laura, Marta, Aurore, Chafik, Sahbi, Becaye et Wassim pour ces 3 années de camaraderie, cette entraide, ce sérieux et cette bonne humeur.
Mention spéciale à Laura : ne change rien ! Merci pour ta solidarité, tes bonnes ondes et le soutien psychologique !
A Wei qui m'a la 1^{ère} ouvert sa porte pour me donner ma 1^{ère} leçon de pliage « by night » dans sa cuisine !
A Véro et mon biquet qui n'ont pas eu peur de venir à pied dans le froid et la neige m'aider et m'expliquer. Et quels caramels !
A Daniel et Louis, encore, pour leur confiance et la mienne !
A miss Bülow, Alice, Elena, Alexia et Laura pour leur accueil chaleureux dans le clan, encore fermé à l'époque, des internes.
A Laurianne : pour ta bonne humeur et tous ces conseils tard le soir, et pour le torque aussi !
Aux squasheurs : Julien, Pierrot, Jean-Charles, Valérian. Merci pour ces bons moments de détente !
Merci pour le chocolat Isabelle !
Audrey, Gilda, Katia et Marie-Sophie : merci à la brochette de votre sympathique compagnie et surtout d'avoir supporté mon humour !
Ulysse, Marie, Léa et Isabelle : courage, plus que 2 ans !
Merci à Jean-Noël pour les précieux conseils et gros gros merci à Paul pour toute ton aide et ta disponibilité !

A notre Président du jury,

Monsieur le Professeur Michel SIXOU

- Ancien Doyen de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse
- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Docteur de l'Université Paul Sabatier
- Habilitation à Diriger des Recherches (H.D.R.)
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier

Nous vous remercions cordialement de l'honneur que vous nous faites en acceptant la présidence de ce jury. Veuillez trouver ici le témoignage de votre disponibilité, accessibilité et humanité.

A notre Directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Pascal Baron,

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Responsable de la sous-section d'Orthopédie Dento-Faciale
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Docteur de l'Université Paul Sabatier
- MBH en Biomathématiques
- Enseignant-chercheur au CNRS (UMR 5288) – Laboratoire d'Anthropologie
- Spécialiste qualifié en Orthopédie-Dento-Faciale

Nous vous sommes reconnaissants d'avoir accepté la direction de cette thèse. Veuillez trouver ici l'expression de notre profond respect pour votre maîtrise, connaissances et aisance dans la spécialité. Nous vous remercions pour votre bienveillance, votre sympathie et la transmission de votre connaissance et savoir-faire.

A nos juges,

Madame le Docteur Sarah Cousty,

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Diplôme d'Etudes Supérieures de Chirurgie Buccale (D.E.S.C.B.)
- Docteur de l'Université Paul Sabatier
- Ancienne Interne des Hôpitaux de Toulouse
- Lauréate de l'Université Paul Sabatier

Merci de l'honneur et du plaisir que vous nous faites en acceptant de siéger dans ce jury. Veuillez trouver ici le témoignage de notre estime, amitié et sincère reconnaissance pour votre travail au sein du service. Merci de votre bienveillance tout au long de l'internat, de votre sympathie et de votre accueil dès le premier jour.

Madame le Docteur Patricia Obach-Dejean,

- Assistante hospitalo-universitaire d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
Certificat d'Etudes Spéciales – mention : Orthodontie (CECSMO)

Merci de l'honneur et du plaisir que vous nous faites en acceptant de siéger dans ce jury. Veuillez trouver ici l'expression de notre profond respect pour vos compétences, expérience et expertise. Soyez assurée de notre gratitude pour votre implication, votre pédagogie et votre gentillesse. Nous vous remercions ici chaleureusement d'avoir su vous mettre à notre hauteur et de nous avoir permis de faire nos premiers pas dans la discipline.

Table des matières

INTRODUCTION	1
PARTIE 1: CONCEPT D'ANCRAGE EN ORTHODONTIE.....	2
1. Définitions	2
1.1. Ancrage orthodontique.....	2
1.2. Réciprocité des forces.....	2
1.2.1. 3 ^{ème} principe de Newton	2
1.2.2. Trinôme de De Nevrezé.....	3
1.3. Ancrage buccal conventionnel	3
1.3.1. Ancrage biologique passif	3
1.3.2. Ancrage alvéolo-dentaire	3
1.3.3. Ancrage musculaire.....	4
1.3.4. Ancrage cortical.....	5
1.4. Moyens d'ancrage orthodontiques actifs	5
1.4.1. Ancrage orthodontique intra-oral	5
1.4.1.1. Ancrage orthodontique intra-oral intra-arcade.....	5
1.4.1.2. Ancrage orthodontique intra-oral inter-arcade.....	7
1.4.2. Ancrage orthodontique extra-oral	7
1.4.2.1. Forces antéro-postérieures	7
1.4.2.2. Forces postéro-antérieures	7
2. Ancrage absolu	8
2.1. Dents ankylosées	8
2.2. Implants dentaires	8
2.3. Implants à visée d'ancrage orthodontique	8
2.4. Ligatures métalliques de Melsen (fig. 8,9)	9
2.5. Systèmes d'ancrage squelettiques (SAS).....	9
2.5.1. Mini-plaques	9
2.5.2. Mini-vis.....	10
3. Ancrage par mini-vis	10
3.1. Historique.....	10
3.2. Description	12
3.2.1. Matériaux (75,126).....	12
3.2.1.1. Titane	12
3.2.1.2. Acier	12
3.2.1.3. Biomatériau résorbable	13
3.2.2. Morphologie.....	13
3.2.2.1. Tête	13
3.2.2.2. Col	13
3.2.2.3. Corps	14
3.2.2.4. Pointe.....	14
3.2.3. Dimensions.....	14
3.2.4. Etat de surface	14
3.3. Cahier des charges (81, 101)	15
3.3.1. Impératifs mécaniques.....	15
3.3.2. Impératifs biologiques.....	15
3.3.3. Impératifs médico-légaux.....	15

3.3.4. Impératifs économiques	15
3.4. Indications (4, 22, 43, 81).....	16
3.4.1. Indications squelettiques	16
3.4.2. Indications dentaires.....	16
3.4.2.1. Sens transversal	16
3.4.2.2. Sens vertical	16
3.4.2.3. Sens sagittal	16
3.5. Contre-indications.....	17
3.5.1. Contre-indications générales	17
3.5.2. Contre-indications locales.....	17
3.6. Sélection du site	18
3.7. Protocole d'insertion et de dépose (11, 43, 75, 80, 81, 82)	18
3.7.1. Interrogatoire et examens préalables.....	18
3.7.2. Etapes cliniques.....	19
3.8. Utilisation orthodontique	20
3.8.1. Mise en charge.....	20
3.8.2. Type de mécanique	20
3.9. Complications (69, 71, 162)	21
3.9.1. Complications per-opératoires	21
3.9.2. Complications post-opératoires.....	22
3.9.3. A la dépose.....	23

PARTIE II: ANALYSE DE LA LITTÉRATURE, TAUX DE REUSSITE ET FACTEURS DE RISQUE. 24

1. Taux de réussite.....	25
1.1. Revues systématiques.....	25
1.2. Méta-analyses	27
2. Facteurs dépendant de l'hôte.....	29
2.1. Age	29
2.2. Genre	32
2.3. Rapports squelettiques	33
2.4. Malocclusion	34
2.5. Habitudes néfastes.....	35
3. Facteurs site.....	35
3.1. Caractéristiques osseuses	35
3.2. Localisation sur l'arcade.....	37
3.3. Maxillaire receveur	40
3.4. Latéralité	41
4. Facteurs vis	42
4.1. Dimensions.....	42
4.2. Nombre	46
4.3. Matériau.....	47
4.4. Morphologie.....	48
4.5. Etat de surface	51
5. Facteurs chirurgicaux	52
5.1. Opérateur.....	52
5.2. Pré-trou.....	53
5.3. Chirurgie d'accès.....	55

5.4. Pose manuelle / contre-angle	55
5.5. Couple d'insertion	55
5.6. Axe d'insertion	57
5.7. Tissu kératinisé / muqueux	58
5.8. Vis enfouie	59
5.9. Proximité radulaire	59
5.10. Ancrage mono- / bicortical	62
6. Facteurs orthodontiques	62
6.1. Mise en charge	62
6.2. Type de mouvement orthodontique.....	64
6.3. Forces orthodontiques.....	65
6.4. Type de mécanique	67
6.5. Module	68
6.6. Durée de la mécanique sur vis	68
6.7. Gestion des tissus mous / HBD	69
7. Synthèse	71
7.1. Taux de réussite	71
7.2. Facteurs d'influence.....	71
PARTIE III : RECHERCHE CLINIQUE	74
1. Introduction.....	74
2. Matériel et méthode	74
2.1. Collecte des informations	74
2.1.1. Patients	75
2.1.2. Site	75
2.1.3. Mini-vis.....	75
2.1.4. Chirurgie.....	76
2.1.5. Orthodontie.....	77
2.2. Constitution de la base de données.....	78
2.2.1. Patients	78
2.2.2. Site	79
2.2.3. Mini-vis.....	79
2.2.4. Protocole chirurgical	79
2.2.5. Procédure orthodontique	79
2.3. Analyse statistique	80
3. Résultats	80
3.1. Patients	81
3.2. Site	81
3.3. Mini-vis.....	81
3.4. Protocole chirurgical	81
3.5. Procédure orthodontique	81
4. Discussion	83
4.1. Facteurs relatifs au patient	83
4.2. Facteurs relatifs au site	84
4.3. Facteurs relatifs aux mini-vis.....	86
4.4. Facteurs relatifs au protocole chirurgical.....	86

4.5. Facteurs relatifs à la procédure orthodontique	88
4.6. Biais	89
CONCLUSION	90
BIBLIOGRAPHIE.....	92
TABLE DES ILLUSTRATIONS	108
ANNEXES	110

INTRODUCTION

Mettre en oeuvre des déplacements dentaires contrôlés dans les trois dimensions de l'espace avec un minimum d'effets indésirables est une des clés de la réussite en orthodontie.

Le développement des ancrages osseux « absolus » a bousculé les concepts de la discipline permettant de dépasser les limitations dues à l'ancrage, de s'affranchir de la coopération du patient et de proposer de nouvelles options de traitement.

Aujourd'hui les mini-vis occupent une place de choix dans ces nouvelles thérapeutiques et la compréhension plus approfondie de leurs répercussions sur le diagnostic, les stratégies de traitement et la biomécanique a permis leur systématisation et l'obtention de résultats reproductibles. Leur taux de succès est élevé mais il persiste une part d'échec largement inexplicée.

L'objectif de ce travail est de participer à l'étude du taux d'échec et des facteurs de risque des mécaniques sur mini-vis.

Une première partie expose des rappels sur le concept d'ancrage en orthodontie et présente les mini-vis.

La seconde partie analyse la littérature concernant taux de réussite et d'échec ainsi que les nombreux facteurs de risque supposés classés selon l'hôte, le site, la mini-vis, le protocole chirurgical et la procédure orthodontique.

La troisième partie relate notre recherche clinique : nous avons examiné rétrospectivement les mini-vis posées dans le cadre du service d'Odontologie de Rangueil du CHU de Toulouse. Nous détaillerons classiquement matériel et méthode, résultats et discussion en espérant apporter notre humble contribution à ce sujet d'étude.

PARTIE 1:

CONCEPT D'ANCRAGE EN ORTHODONTIE

1. Définitions

1.1. Ancrage orthodontique

L'ancrage désigne « l'action d'attacher à un point fixe ». A l'origine terme de marine, la mise à l'ancre rend le bateau capable de résister aux forces des courants et marées.

Cette notion de fixité absolue n'existe pas lorsqu'il s'agit d'une dent, d'un groupe de dents, ou d'une arcade car il n'y a pas de point fixe dans la cavité buccale. Toute dent se déplace physiologiquement même sans intervention thérapeutique : c'est la notion de dérive mésiale physiologique.

En biomécanique orthodontique, l'ancrage est la résistance d'un corps au déplacement. Dougherty (40) parle de « resistance to movement + distance to move » décrivant la dualité de l'ancrage : à la fois résistance et distance. Les appareillages orthodontiques ont pour but de déplacer des unités dentaires et leur environnement parodontal sur une base osseuse, en leur imprimant des forces et en obéissant au principe de Newton.

Pour Root (143), certains pensent : « quel est le moyen le plus rapide pour faire bouger une dent ? », alors qu'ils devraient penser : « quel ancrage dois-je utiliser si je veux déplacer une dent ». Absolument fondamental, l'ancrage disponible et nécessaire doit être évalué par l'orthodontiste avant le traitement afin de satisfaire à ses objectifs thérapeutiques sous peine d'aller à l'échec.

1.2. Réciprocité des forces

1.2.1. 3^{ème} principe de Newton

« A toute action correspond une réaction d'intensité égale et de sens opposé ». Quelle que soit la thérapeutique mécanique orthodontique utilisée, appliquer une force sur une dent, un groupe de dents ou une arcade engendre une force de même intensité, de même ligne d'action, mais de sens opposé sur la structure d'appui. Cette réaction entraîne rarement des effets souhaités et l'on recherche le plus souvent la fixité des dents supports qui constituent l'ancrage.

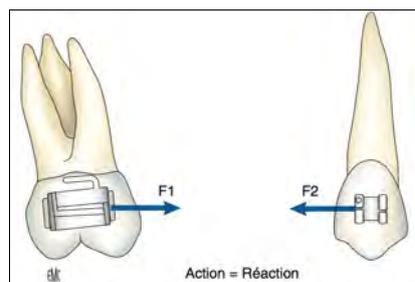


Figure 1: 3^{ème} principe de Newton, Massif L., Frappier L. (101)

1.2.2. Trinôme de De Nevrézé

De Nevrézé décrit l'interaction de 3 éléments :

- La résistance mobile (RM) représente le point d'application et la résistance de la structure à déplacer.
- La résistance stable (RS) représente le point d'ancrage de la force.
- La force motrice (FM) représente la force permettant le déplacement.

Les 3 cas de figure possibles sont :

- RS = RM

Si $FM < RS$ et RM , alors pas de déplacement

Si $FM > RS$ et RM , alors déplacement égal et symétrique des 2 structures.

- RM < RS

Si $RM < FM < RS$, alors déplacement de RM .

Si $RM < RS < FM$, alors déplacement double et inégale (RM se déplaçant davantage)

- RS < RM

Si $FM < RS < RM$, alors pas de déplacement.

Si $RS < FM < RM$, alors déplacement de RS .

L'orthodontiste doit donc contrôler son système de force pour éviter les mouvements parasites et ce dans les trois sens de l'espace.

1.3. **Ancrage buccal conventionnel**

1.3.1. Ancrage biologique passif

C'est l'ancrage naturel propre à chaque individu. Il est constitué de la dent, elle-même dépendante de son milieu desmodontal et alvéolaire mais, au-delà du système dentaire, par tous les supports osseux et musculaires intra- comme extra-oraux capables de résister aux forces orthodontiques. Ce qui suppose donc des variations typologiques et morphologiques.

1.3.2. Ancrage alvéolo-dentaire

Il est fonction :

- du nombre de dents et de leur anatomie radicaire : nombre, longueur et surface des racines. Des dents pluriradiculées possédant des racines larges et longues réaliseront un meilleur ancrage que des dents monoradiculées avec des racines fines et courtes.
- du rapport couronne / racine : l'ancrage augmente quand ce rapport diminue.
- de la position dentaire sur la base osseuse par rapport à la force : une molaire mandibulaire versée mésialement fournira un ancrage inférieur à une force mésialante

que la même molaire normo-positionnée. C'est la théorie du « piquet de tente » de Tweed (173).

- de la quantité et de la qualité de l'os alvéolaire : surface et densité alvéolaires.
- du type de déplacement dentaire, plus ou moins consommateur d'ancrage. Du plus facile à réaliser (nécessitant donc le moins d'ancrage) au plus difficile : version, égression, rotation, translation, torque, ingression.
- de l'occlusion : l'engrènement cuspidien s'oppose aux mouvements dentaires.

Freeman a ainsi mesuré en 1965 la surface moyenne radiculaire de chaque dent pour quantifier l'ancrage. Puis Jarabak a attribué des coefficients d'ancrage à chaque dent (59).

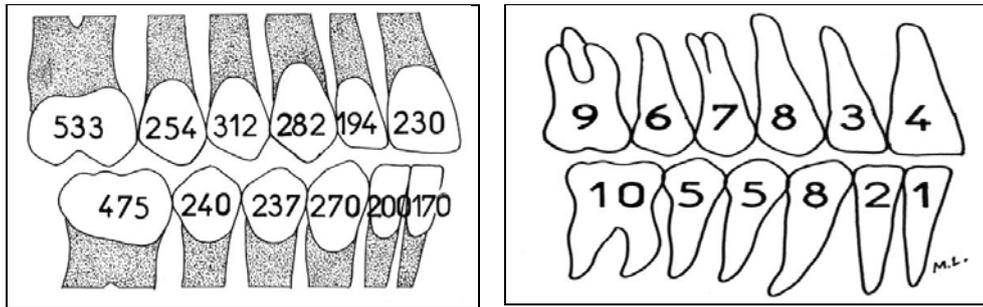


Figure 2: surfaces radiculaires moyennes selon Freeman, valeurs d'ancrage de Jarabak.

L'imagerie 3D a permis d'objectiver le volume radiculaire en mm³ (127,128), permettant une mécanique plus adaptée minimisant les effets iatrogènes.

	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
Volume radiculaire (mm ³)	321	239	366	287	296	594	545	162	171	306	240	262	564	534
Coefficient d'ancrage	2	1,5	2,2	2	2	4	3,5	1	1	2	1,5	2	3,5	3,5

Tableau 1: volumes radiculaires et coefficients d'ancrage selon Nabbout, Faure et Baron (127, 128)

1.3.3. Ancrage musculaire

L'environnement musculaire intervient également dans cet ancrage passif. C'est la notion d'enveloppe fonctionnelle qui détermine le couloir dentaire de Château, zone d'équilibre entre les pressions externes centripètes et internes centrifuges dans laquelle se positionnent naturellement les dents. (20)

L'ancrage musculaire est donc soumis à cet équilibre linguo-labio-jugal dans les 3 sens de l'espace :

- Le rapport joues / langue régit le sens transversal, notamment le torque des secteurs latéraux.
- Le sens antéro-postérieur dépend de l'interaction langue / lèvres : des lèvres inférieures minces et tendues s'opposent bien plus au mouvement linguo-vestibulaire des incisives inférieures que des lèvres atones. (130)

- L'ancrage vertical, lui, est soumis aux forces masticatoires et donc aux muscles élévateurs.

Pour Langlade (73), la typologie intervient comme facteur modérateur ou renforçateur, dans la mesure où elle contrôle la densité osseuse, la puissance musculaire et donc les forces occlusales :

- Chez les sujets hypodivergents l'os est plus dense, et les forces occlusales engendrées par les muscles assurent un ancrage naturel important dans les trois sens de l'espace.

- Chez le sujet hyperdivergent, cet ancrage naturel est faible.

1.3.4. Ancrage cortical

L'ancrage est fonction de la densité osseuse : il est supérieur à la mandibule par rapport au maxillaire.

Selon Chateau (20) pour une même force on a 3 fois plus de déplacement dans l'os maxillaire que dans l'os mandibulaire.

De plus, le turn-over est plus élevé dans l'os spongieux que dans la corticale osseuse. Ricketts (140,141) propose un torque radiculo-vestibulaire et de l'expansion pour ancrer les racines dans la corticale au niveau de la ligne oblique externe.

1.4. Moyens d'ancrage orthodontiques actifs

C'est l'ancrage mécanique produit par les dispositifs orthodontiques pour contrôler le déplacement des dents d'appui dans les 3 sens de l'espace.

Cet ancrage a pour but de réduire au maximum la force de réaction qui s'exprime lors de l'application d'une force : c'est le contrôle de l'ancrage. Il utilise des moyens mécaniques différents mais dont le but est toujours le même : éviter le déplacement des dents d'ancrage.

1.4.1. Ancrage orthodontique intra-oral

Il peut être intra- ou inter-arcade.

1.4.1.1. Ancrage orthodontique intra-oral intra-arcade

- Ligatures en chaîne ou en 8 : plus le nombre de dents d'ancrage solidarisées est grand, meilleur est l'ancrage.

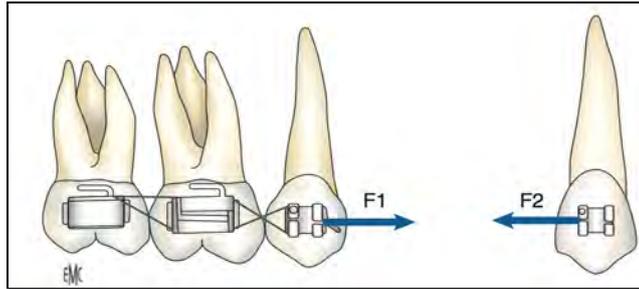


Figure 3: renfort d'ancrage, solidarisation par ligature en 8, Massif L., Frappier L. (101)

- Courbures sur l'arc :
 - 1^{er} ordre, ex. : toe-in molaire ou courbure anti-rotation,
 - 2^{ème} ordre, ex. : tip-back ou courbure anti-version,
 - 3^{ème} ordre, ex. : torque radiculo-vestibulaire pour placer les racines dans la corticale externe.

- Arcs lourds : les contacts inter-dentaires et les arcs pleine taille de section rectangulaire interdisent tout déplacement vertical, mésio-distal ou vestibulo-lingual isolé.

- Sectionnels : en technique segmentée, stabilisation des secteurs latéraux et postérieurs par des sectionnels porteurs de courbures anti-version et anti-rotation en opposition aux effets parasites.

- Auxiliaires d'ancrage :
 - Quad-Hélix : ancrage transversal une fois l'expansion terminée.
 - Arc transpalatin : contrôle de la rotation mésio-palatine des 1^{ères} molaires maxillaires dans le sens horizontal et de l'égression dans le sens vertical.
 - Arc transpalatin de Nance : maintien l'ancrage des molaires et permet des mouvements de rotation ou d'expansion des molaires.
 - Lip-bumper mandibulaire amovible : distalisation supposée des molaires, mainteneurs d'espace, source d'ancrage à l'arcade mandibulaire.
 - Lip-bumper maxillaire, rarement utilisé.
 - Plaque palatine : ancrage dans les 3 dimensions.
 - Arc lingual : stabilisation du sens transversal, maintien de l'ancrage molaire avec éventuellement deux boucles.
 - Bi-hélix : ancrage transversal.
 - Pendulum : maintien l'ancrage des secteurs latéraux pour distalisation molaire
 - Plaque amovible mandibulaire : ancrage tridimensionnel.

- Ancrage osseux :
 - Implants dentaires
 - Implants à visée d'ancrage (143)
 - Ligatures métalliques (108)
 - Mini-plaques vissées (38, 159, 160, 161,175)
 - Mini-vis

- Corticotomies / corticisions sectorielles : réalisent localement un ancrage différentiel (111,149).



Figure 4: corticotomie vestibulaire, Sebaoun et al. (149)

1.4.1.2. Ancrage orthodontique intra-oral inter-arcade

- Tractions inter-maxillaire (TIM) :
 - élastomériques : TIM II, TIM III, verticaux. Peuvent servir à mobiliser toute l'arcade antagoniste, tout comme elles peuvent aussi réduire la RM mobile antagoniste.
 - Ressorts fermés Nitinol : alternative aux élastiques
- Propulseurs rigides : bielle de Herbst®, Forsus®

1.4.2. Ancrage orthodontique extra-oral

Ces dispositifs prenant appui en dehors de la cavité buccale, il n'existe pas de forces réciproques créées au niveau de l'arcade dentaire.

1.4.2.1. *Forces antéro-postérieures*

- Forces extra-orales (FEO) : sur les 1ères molaires.
- Fronde mentonnière : soulage l'ancrage antérieur lors de la fermeture d'espaces importants maxillaires ou mandibulaires. Par leur appui mentonnier, ces dispositifs exercent une force distalante sur l'arcade inférieure pouvant servir à renforcer l'ancrage.

1.4.2.2. *Forces postéro-antérieures*

Le plus souvent orthopédiques :

- Masque de Delaire
- Masque de Petit et Chateau

Les FEO constituent le moyen d'ancrage « le plus efficace » :

- forces contrôlables en intensité et en direction,
- appui crânien indéformable par les contraintes orthodontiques,
- meilleur contrôle du sens vertical.

Mais elles sont aussi le moyen d'ancrage « le moins efficace » car elles réclament la coopération du patient, d'où l'intérêt indiscutable des mini-vis.

2. Ancrage absolu

Un ancrage absolu est totalement immobile en présence de forces orthodontiques. Très intéressant en orthodontie, ce type d'ancrage reste difficile à mettre en oeuvre de façon efficace. On en recense actuellement plusieurs types.

2.1. Dents ankylosées

La majeure partie d'entre elles sont enclavées ou incluses et donc inaccessibles. Dans le cas contraire, selon la situation et les besoins d'ancrage, on pourra différer l'avulsion pour renforcer l'ancrage.

2.2. Implants dentaires

Une reconstitution prothétique provisoire supra-implantaire peut permettre ce type d'ancrage. Idéalement un set-up préalable est réalisé pour situer précisément la position du site implantaire. Mais le cas de figure peut se présenter avec un implant déjà en place avant le début de traitement orthodontique.

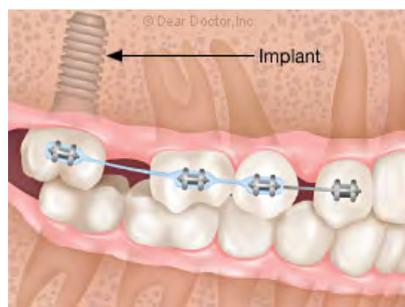


Figure 5: ancrage supra implantaire, <http://www.deardocor.com/articles/dental-implants/page3.php>

2.3. Implants à visée d'ancrage orthodontique

Différents types ont été employés : l'implant rétromolaire de Roberts (fig. 6) (143), les implants palatins de Wehrbein (182) ou de Wilmes (fig. 7) (187) utilisés par le biais d'une superstructure rigide. Ils nécessitent un temps d'ostéointégration avant leur utilisation comme ancrage et ne sont pas permanents.



Figure 6: implant rétromolaire, Roberts et al. (143)



Figure 7: implant palatin et dispositif Beneslider®, Wilmes et al. (187)

2.4. Ligatures métalliques de Melsen (fig. 8,9)

Deux perforations crestales infrazygomatiques permettent le passage d'un fil de ligature en acier chirurgical toroné émergeant au fond du vestibule maxillaire en zone de muqueuse alvéolaire au niveau de la seconde molaire maxillaire. Lourd à mettre en place et sensible à utiliser (108).

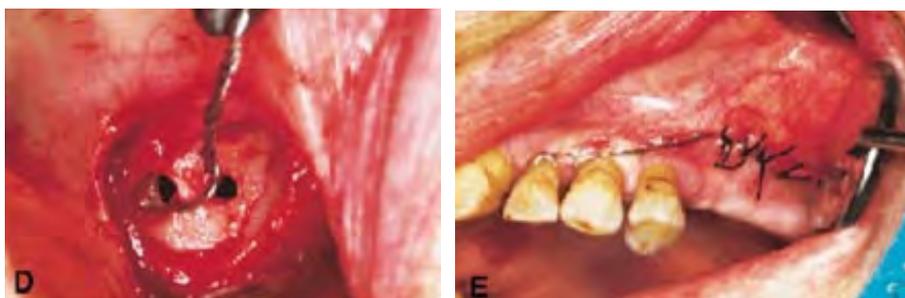


Figure 8, Figure 9: ligatures métalliques zygomatiques, Melsen et al. (108)

2.5. Systèmes d'ancrage squelettiques (SAS)

2.5.1. Mini-plaques

Plaques d'ostéosynthèse modifiées, les mini-plaques en titane sont temporairement fixées par des vis mono-corticales. Un prolongement traverse la muqueuse alvéolaire, sur lequel vient s'ancrer les forces orthodontiques. Leur mise en place et leur dépose sont assez contraignantes, et leurs localisations se réduisent à la crête infrazygomatique au maxillaire et à la zone canine mandibulaire. Elles permettent l'application de forces lourdes permettant des corrections orthopédiques de classe III. Une fois vissées, leur ductilité permet d'ajuster leur adaptation. Leur utilisation a été bien codifiée par Sugawara (fig. 10) (161) puis De Clerk (fig. 11,12) (38).

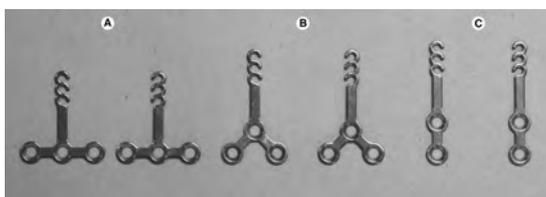


Figure 10: mini-plaques d'ancrage, Sugawara et al. (161)

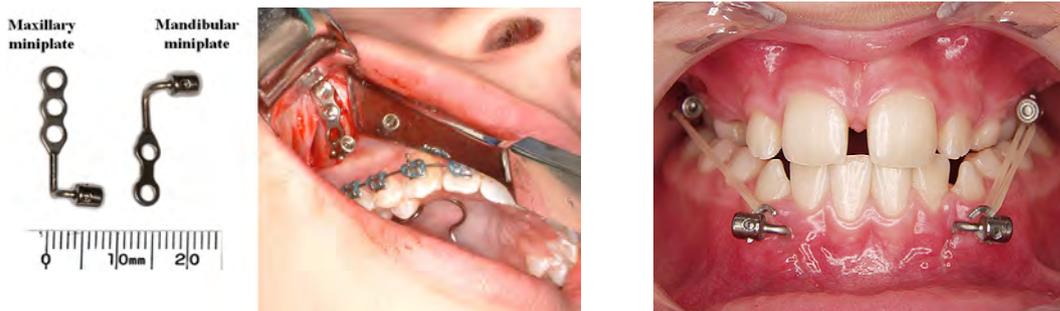


Figure 11, Figure 12: ancrages de Bollard selon De Clerck et al. (38)

2.5.2. Mini-vis

La terminologie n'est pas claire : « mini-implants », « mini-vis », « micro-implants », « micro-vis », « vis d'ancrage », « Temporary Anchorage Device System » (TADs), « intra-oral extra-dental anchorage device ». Ces appellations décrivent toutes des dispositifs plus petits que les implants dentaires conventionnels assurant un ancrage squelettique temporaire. Les termes « micro » et « implant » sont plutôt d'usage anglophone. Ce terme « implant » convient mal car il implique par définition une ostéointégration préalable à la mise en charge. Or l'ostéointégration n'est pas nécessaire à l'utilisation de ces ancrages et le titane n'est d'ailleurs pas le seul matériau de confection (32, 90, 105). Le terme de « mini-vis » sera donc ici préféré.

De nombreux systèmes sont disponibles mais présentent tous des caractéristiques communes : une tête sur laquelle s'ancrer, un col, un corps intra-osseux et une pointe. Les différentes mini-vis varient par la morphologie de la tête, du filetage, leurs dimensions, le type de matériau. Ces mini-vis sont faciles à mettre en place dans de nombreuses localisations vu leur gabarit. La dépose est simple et leur coût relativement faible. Elles présentent donc un bon rapport coût-bénéfices-risques.

3. Ancrage par mini-vis

3.1. Historique

Le concept d'ancrage osseux n'est pas nouveau : la chirurgie orthopédique, avant 1905 déjà, a su utiliser des vis osseuses en acier inoxydable pour allonger un membre inférieur (30). En raison de limites des FEO, les orthodontistes ont très tôt recherché d'autres moyens d'ancrage. En effet, dès 1945, Gainsforth et Higley, dans une étude in-vivo chez le chien, placent des vis en Vitallium® (acier inoxydable Dentsply) dans le ramus et obtiennent un mouvement dentaire en utilisant l'os basal comme ancrage. Ils trouvent qu'une force efficace devrait être maintenue 31 jours au maximum et la perte des vis est imputée à une infection provenant de leur communication avec la cavité buccale. Ces auteurs concluent cependant que « dans le futur, un ancrage peut-être obtenu pour un mouvement orthodontique » (45).

1969, introduction par Bränemark et al. du concept d'ostéointégration et des implants en titane (13).

1970, Linkow (89) proposent un implant lame à revêtement d'hydroxyapatite, ostéointégrable, comme ancrage pour des TIM II. D'autres matériaux sont essayés, toujours en vue d'ostéointégration, comme le carbone vitreux par Shermann en 1978 (155) ou encore l'oxyde d'alumine recouvert de bioglass en 1980 (172) mais les résultats sont décevants.

1983, Creekmore et Eklund utilisent une vis en Vitallium® placée sous l'épine nasale antérieure pour ingresser les incisives maxillaires par un élastique accroché en permanence. Ils obtiennent une ingression de 6 mm et 25° de torque (33).

1985, Jenner et Fitzpatrick rapportent l'usage d'une plaque d'ostéosynthèse comme ancrage orthodontique (60). En parallèle, les implants dentaires sont utilisés avec succès. Roberts et al. en 1990, rapportent un cas de mésialisation de 2^{ème} et 3^{ème} molaire mandibulaire grâce à un implant rétromolaire utilisé provisoirement (143). Les implants classiques sont proposés pour des traitements ortho-prothétiques, surtout chez des patients édentés partiels ou au volume osseux réduit. Ils servent d'ancrages orthodontiques et de piliers pour le remplacement de dents. Les protocoles sont longs, invasifs, coûteux et réservés aux secteurs édentés.

1995, Block et Hoffman présentent un dispositif implantaire d'ancrage palatin, l'Onplant® (10).

1996, Wehrbein et al. exposent un nouvel implant palatin court, l'Orthosystem® (182), et Bousquet publie un cas utilisant une vis en titane de dimensions réduites (0.7 x 6 mm) (12)

1998, Melsen et al. proposent les ligatures métalliques zygomatiques (108).

1999, Kanomi (62) utilise des vis dans un cas d'ingression et Umemori et al. (174) publient sur les systèmes d'ancrage osseux et les mini-plaques pour corriger les béances. La même année, la Food and Drugs Administration reconnaît l'usage des vis en titane comme ancrage.

L'intérêt des praticiens pour l'ancrage osseux est alors exponentiel (36) comme en témoignent le nombre d'articles (fig. 13), le nombre de nouveaux auteurs ou encore l'amélioration du niveau de preuve. (Annexes 1 et 2)

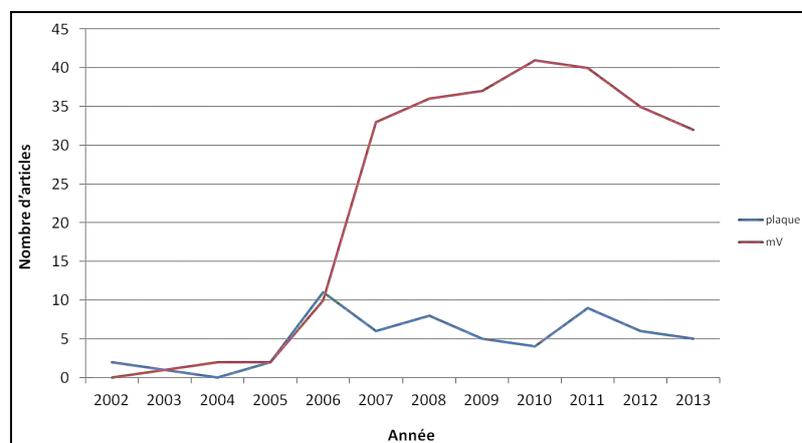


Figure 13: évolution du nombre d'articles sur les mini-vis et les mini-plaques selon Dammak Sahbi (36)

Leur démocratisation ne tarda donc pas et les années 2000 virent éclore de nombreuses versions commerciales en titane inspirées par différents auteurs :

- Aarhus® (1999 Melsen et al.)
- MTI® (2000 Gray et Smith et al.)
- MIA® (2002 Park)
- AbsoAnchor® (2003 Kyung et al.)
- Spider Screws® (2003 Maino et al.)
- Omas® (2003 Lin et Liou)
- C-orthodontic® (2004 Chung et al.)
- Imtek® de 3M (2005 Herman et Cope)
- Ancotek® de Tekka (2006 Baron et al.)

C'est en 2002 que sortie la 1^{ère} mini-vis en acier chirurgical Léone® (Léone), puis en 2004 Ancora® (Matossian, Filippi, Le Gall).

3.2. Description

3.2.1. Matériaux (75,126)

3.2.1.1. *Titane*

La plupart des mini-vis sont à base de titane dont le niveau de biocompatibilité est reconnu. On retrouve différents matériaux :

- le titane commercialement pur (TCP), et ses alliages :
- le Ti-6Al-4V ou $\alpha\beta$ Titanium
- le Ti-33Nb-15Ta-6Zr ou β Titanium

Le plus répandu est le Ti-6Al-4V. Il est composé de 90% de titane, 6% d'aluminium et 4% de vanadium. Ses propriétés mécaniques sont augmentées par rapport au TCP, sa densité moindre et sa résistance à la corrosion meilleure. Une version encore améliorée est disponible : le Ti-6Al-4V Eli (Extra Low Interstitials) alliant faible densité, excellente biocompatibilité, faible module d'élasticité, haute ténacité et meilleure ductilité cryogénique.

3.2.1.2. *Acier*

Récemment proposées, les mini-vis à base d'acier sont aussi disponibles sur le marché. Le matériau est un acier chirurgical inoxydable austénitique écroui à froid de type AISI 316LVM. Sa couche superficielle d'oxyde de chrome lui confère sa résistance à la corrosion. Sa biocompatibilité est bonne et ses propriétés biomécaniques très intéressantes. En effet, sa ductilité rend l'acier plus déformable que les alliages à base de titane plus fragiles et donc plus cassants. De plus, ne s'ostéointégrant pas, la dépose est logiquement censée être plus facile (82). Son coût de fabrication est supérieur.

3.2.1.3. *Biomatériau résorbable*

Un copolymère résorbable a été proposé par Ritto (47,142). A base d'acides polylactique et polyglycolique, déjà utilisés en orthopédie, ce matériau aurait pour avantages théoriques :

- biocompatibilité excellente
- dégradation lente (absorption complète à 220j)
- pas de dépose
- absence de métal :
 - limitation de certaines réactions allergiques
 - corrosion inexistante
 - pas d'artefact à l'imagerie

Toutefois, ce type de matériau n'est pas diffusé et reste expérimental. Aucune investigation n'a été menée pour tester son extensivité : seulement 2 avis d'auteurs et un rapport de cas clinique non terminé ont été retrouvés.

3.2.2. Morphologie

On décrit classiquement 4 parties :

- la tête
- le col ou chanfrein
- le corps avec son fileté
- la pointe

En fonction de leur conception, les propriétés biomécaniques de la mini-vis varient.



Figure 14: mini-vis Ancotek® Tekka®

3.2.2.1. *Tête*

Son dessin est extrêmement varié selon les modèles : on trouve, entre autre, des boutons, des gorges, des brackets, des écrous, des perforations simples ou doubles, des têtes larges.

On peut les classer en 2 catégories :

- têtes à contrôle tridimensionnel (3^{ème} ordre) avec 2 gorges pour l'insertion d'un arc.
- têtes constituant un point d'ancrage simple.

3.2.2.2. *Col*

Le col correspond, quand la vis n'est pas enfouie, à la partie transgingivale de la mini-vis. Il est parfaitement lisse pour minimiser la rétention de biofilm bactérien. Sa longueur est variable pour s'adapter à l'épaisseur muqueuse du site implantaire. Sont disponibles des mini-vis à col concaves ou à butée d'enfoncement pour réduire le risque de compression muqueuse à l'insertion.

C'est la zone de la vis qui reçoit le plus de contraintes mécaniques à la dépose et elle doit donc être suffisamment résistante et donc de diamètre adapté.

3.2.2.3. Corps

On distingue le noyau interne de son filetage hélicoïdal externe.

Leur contour peut être cylindrique ou conique. La différence entre leur diamètre joue sur les propriétés mécaniques de la mini-vis et peut varier sur une même vis. D'autres facteurs interviennent sur le comportement biomécanique comme le pas de spire, qui peut être différent du col à la pointe, l'orientation de la spire et son dessin symétrique ou non, triangulaire, rectangulaire ou trapézoïdal avec un méplat.

3.2.2.4. Pointe

La plupart des mini-vis actuelles sont autotaraudantes. Elles possèdent un bord d'attaque cannelé (i.e. une petite entaille dans le début du filetage, le rendant acéré) associé à un pas de vis qui crée lui-même le filetage dans l'os à mesure que la vis progresse.

Les mini-vis peuvent aussi être autoforantes. Leur pointe en tire-bouchon et leurs spires obliques les affranchissent de pré-trou, suspecté plus traumatique en raison de l'élévation de température qu'il génère. (75)

Certaines sont à la fois autotaraudantes et autoforantes.

3.2.3. Dimensions

La longueur de la partie filetée, comprenant corps et pointe, varie de 6 à 12 mm. Une vis longue est plutôt indiquée en présence d'une corticale fine afin d'améliorer la stabilité primaire. A l'inverse, en présence d'une corticale épaisse, une vis courte peut être utilisée. Le rôle joué par la longueur a été longuement discuté comme nous le verrons. Elle est, bien entendu, adaptée aux conditions anatomiques.

Le diamètre varie de 1,2 à 2 mm. Là aussi les recommandations varient. Les petits diamètres permettent une insertion moins risquée mais une moindre résistance mécanique. Des diamètres plus importants répartissent mieux les contraintes sur la vis comme sur l'os et semblent plus indiqués en présence d'une corticale épaisse.

3.2.4. Etat de surface

L'ostéointégration n'étant pas souhaitée, l'état de surface est généralement lisse, résultant d'un usinage simple. Ainsi les mini-vis en titane ne bénéficient pas des traitements de surface des implants dentaires.

3.3. Cahier des charges (81, 101)

3.3.1. Impératifs mécaniques

- La conception doit permettre pose et dépose aisée.
- Les dimensions, diamètre et longueur, doivent permettre de s'adapter à l'anatomie du site implantaire, celui-ci étant imposé par les impératifs mécaniques du traitement.
- Le col doit avoir une hauteur adaptée à l'épaisseur gingivale et une morphologie permettant un sertissage gingival.
- La résistance mécanique en torsion doit éviter déformation et fracture à la pose ou la dépose.
- La stabilité doit être suffisante pour contrer les forces et couples de résistance et assurer ainsi l'ancrage.
- La morphologie de la tête doit être compatible avec le système de connection.
- Enfin, la résistance au cisaillement et à la flexion doit permettre d'éviter le phénomène de fatigue cyclique du matériau, notamment sous l'effet de forces lourdes orthopédiques.

3.3.2. Impératifs biologiques

- Biocompatibilité du matériau : évitant corrosion et susceptibilités allergiques.
- Ostéointégration : propriété non recherchée mais observable selon le matériau, et ce d'autant plus pour des durées importantes. Le phénomène peut contrarier la dépose. Ellouze et Darqué parlent de « fibrointégration » avec une faible proportion d'interface osseuse (25 à 40%). (43)
- Morphologie atraumatique et état de surface lisse de la tête pour respecter les tissus mous et éviter : irritation, inflammation et rétention alimentaire et de plaque dentaire.
- Conditionnement stérile individuel aux normes CE.

3.3.3. Impératifs médico-légaux

- Traçabilité : selon le code de la santé publique, la traçabilité de tout dispositif médical est de la responsabilité des utilisateurs (respect de la sécurité sanitaire et obligation d'information du patient).

3.3.4. Impératifs économiques

- Coût réduit.

3.4. Indications (4, 22, 43, 81)

3.4.1. Indications squelettiques

- Blocage des rapports inter-maxillaires post-chirurgie orthognathique.
- Orthopédie de classe II et III : ancrage osseux maxillaire et/ou mandibulaire.
- Disjonction maxillaire avec appuis osseux.

3.4.2. Indications dentaires

3.4.2.1. *Sens transversal*

- Correction d'axes : contrôle du 3^{ème} ordre
 - Exo- / endoalvéolie (fig. 15)



Figure 15: correction exoalvéolie, Lazaroo et al. (75)

3.4.2.2. *Sens vertical*

- Ingression : sourire gingival, égression à corriger, béance, hyperdivergence, contrôle de la croissance alvéolaire verticale.
 - Antérieure / postérieure (fig 16)
- Egression : fracture, inclusion, dystopie / ectopie.
 - Antérieure / postérieure



Figure 16: ingression molaire, Lazaroo et al. (75)

3.4.2.3. *Sens sagittal*

- Distalisation ou mésialisation :
 - Dents postérieures / antérieures (fig. 17)
 - Arcade complète / dent unitaire
- Redressement d'axe dentaire :
 - Dent enclavée / mésioversée (fig 18)
 - Préparation d'ancrage mandibulaire

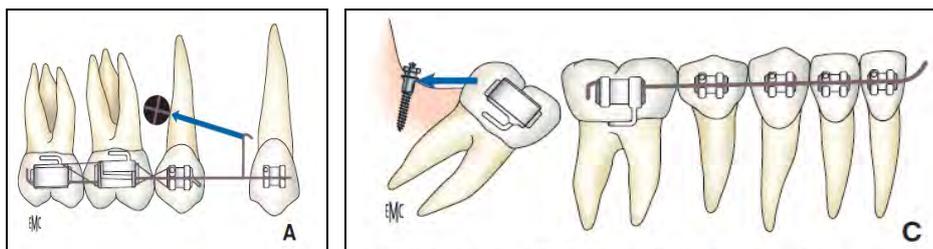


Figure 17: rétraction antérieure, Massif L., Frappier L. (101)

Figure 18: correction mésioversion molaire, Massif L., Frappier L. (101)

Les mini-vis sont particulièrement indiquées dans le cas d'un ancrage dentaire insuffisant (agénésie) ou lors d'utilisation de mécaniques asymétriques (11) où l'indication peut être simplement de maintenir un secteur tel quel pour conserver des rapports dentaires déjà convenables.

3.5. Contre-indications

3.5.1. Contre-indications générales

- Risque oslérien
- Immunodépression congénitale ou acquise, chimiothérapie récente
- Bisphosphonates
- Diabète non équilibré
- Troubles de la coagulation
- Age inférieur à 15 ans car faible densité osseuse
- Tabac
- Grossesse

La liste n'est pas exhaustive et correspond à celle des implants, c'est-à-dire celle d'une chirurgie de classe II d'Altemeier (« propre contaminée »)

3.5.2. Contre-indications locales

- Obstacles anatomiques :
 - Sinus maxillaires
 - Paquets vasculo-nerveux palatins
 - Nerf mandibulaire en particulier au niveau du foramen mentonnier
 - Racines dentaires
- Site osseux en cours de remodelage (post-extractionnel)
- Support parodontal insuffisant : épaisseur corticale de moins de 0,5 mm
- Hygiène déficiente
- Destruction, perte ou mauvaise qualité osseuse susceptible d'affecter la stabilité de l'ancrage.
 - Largeur osseuse interradiculaire insuffisante
 - Infection aigüe / chronique : lichen plan, kératose

La contre-indication majeure reste le manque de coopération du patient et surtout une hygiène insuffisante responsable de phénomènes inflammatoires incriminés dans les pertes de mini-vis. (11)

3.6. Sélection du site

Différents aspects sont à prendre en compte (80) :

- **Sûreté** : les secteurs à risque important de dommages irréversibles potentiels de structures anatomiques doivent être évités.
- **Accessibilité** : elle conditionnera un protocole chirurgical correct et aboutira donc à une stabilité correcte.
- **Qualité et quantité des tissus durs** : l'os cortical doit être suffisamment épais pour assurer une bonne stabilité primaire (stabilisation mécanique immédiate) nécessaire à une cicatrisation normale.
- **Qualité des tissus mous** : la gencive attachée est la zone de choix pour la cicatrisation des tissus mous et la prévention de l'inflammation.
- **Utilité** : une mini-vis doit être placée favorablement sur le plan biomécanique pour permettre l'application de la force orthodontique nécessaire et son ajustement au cours du traitement.
- **Gêne** : la mini-vis doit être placée dans un secteur où la gêne est minimale.
- **Irritation provoquée par les tissus environnants** : les secteurs sollicités par les muscles péribuccaux, comme les bosses canines, ou ceux irrités par les aliments durant la mastication, secteurs des 1ères et 2èmes molaires mandibulaires, doivent être évités dans la mesure du possible.

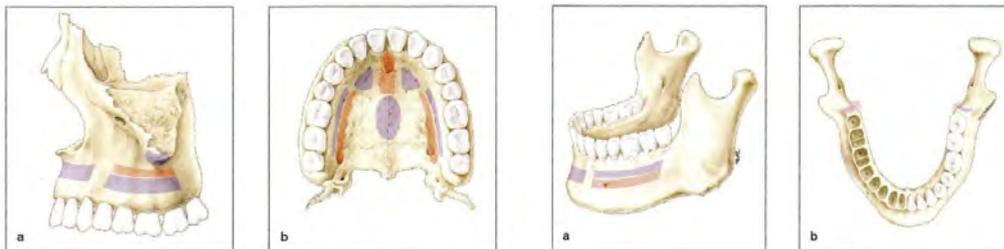


Figure 19: zones de sécurité en violet, Lee et al. (80)

3.7. Protocole d'insertion et de dépose (11, 43, 75, 80, 81, 82)

La pose des mini-vis est un acte chirurgical simple basé sur les principes suivants :

- **Asepsie**. Les normes d'hygiène sont celles de l'implantologie.
- Interventions atraumatiques au maximum.
- Examen préopératoire rigoureux et positionnement précis des vis.
- Prescription d'une prémédication antalgique pour certains
- Protocoles opératoires standardisés

3.7.1. Interrogatoire et examens préalables

Après avoir éliminé d'éventuelles contre-indications générales ou locales, un bilan radiologique, orthopantomogramme et rétroalvéolaire, est nécessaire afin d'étudier le site implantaire. Un guide radiologique peut être utilisé. L'imagerie 3D peut compléter

l'examen. Les risques de lésions des structures anatomiques de voisinage sont identifiés. Si des mouvements de dents adjacentes à la vis sont prévus, elle doit être placée très précisément pour exploiter au mieux l'espace disponible. La position et l'orientation de la mini-vis, ainsi que ses dimensions sont ainsi établies.

3.7.2. Etapas cliniques

- Asepsie endo- et péri-buccale : chlorhexidine, métronidazole ou povidone iodée.
- Anesthésie locale par infiltration. Elle est légère, surtout muqueuse, pour prévenir le risque de lésion radiculaire en conservant la sensibilité desmodontale.
- Sondage de l'épaisseur gingivale. Ceci permet le choix de la mini-vis selon la hauteur de son col et le marquage de la gencive. Ce repérage du site d'insertion peut se faire également en objectivant les axes dentaires proximaux par pression de la partie longue et lisse de la sonde. Certains préconisent l'utilisation d'appareillage ultrasonique (17)
- Marquage de la corticale à la fraise boule.
- Décollement mucco-périosté de pleine épaisseur éventuellement, en cas de vis enfouie. Mais le lambeau n'est pas forcément nécessaire et il alourdit les suites opératoires.
- Forage éventuel d'un pré-trou. Il a pour but de faciliter l'insertion de la vis et d'éviter la fatigue du matériau. Réalisé sous irrigation avec un foret de taille adaptée, il est nécessaire pour les mini-vis autotaraudantes. Il peut-être indiqué pour les vis autoforantes sur des corticales épaisses.
- Guide chirurgical. Préconisé par certains (32, 57, 116, 162), il existe sous forme variée : métallique, résineux.

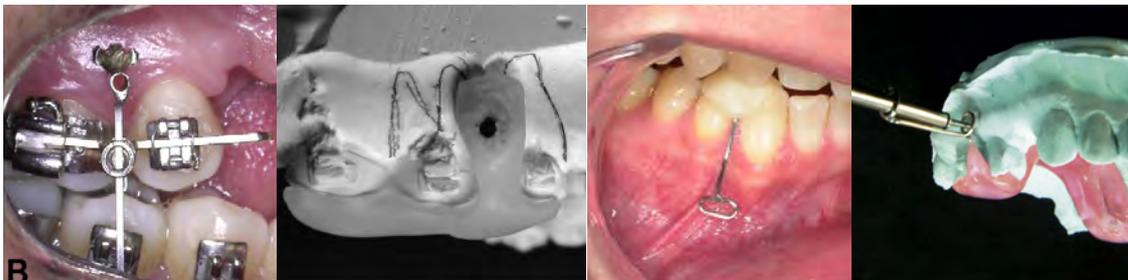


Figure 20: guide chirurgical, Janson et al. (57)
Figure 21: guide chirurgical, Miyazawa et al. (116)
Figure 22: guide chirurgical, Costa et al. (32)
Figure 23: guide chirurgical, Pongsamart et al. (162)

- Vissage : manuel ou au contre-angle réducteur si l'accès est difficile, il est généralement trans-gingival et réalisé jusqu'au sertissage gingival du col de la vis. Il se fait par rotation sans force verticale excessive. D'abord orthogonal à la surface osseuse jusqu'à obtenir une accroche, l'opérateur oriente ensuite obliquement selon un angle de 30° à 40° par rapport au grand axe des dents au maxillaire et de 10° à 20° à la mandibule. Dans une zone non dentée, l'insertion peut se faire orthogonalement. L'insertion verticale parallèle aux axes dentaires est proposée par Lee (76), si les conditions anatomiques s'y prêtent (en palatin, sur la ligne oblique externe, dans le trigone rétromolaire ou dans la corticale externe maxillaire). Les interférences radiculaires ne sont ainsi pas à craindre.

- Sutures éventuelles.
- Contrôle de la stabilité primaire. Elle est primordiale dans la mesure où la stabilité de la vis se fait par rétention mécanique. Si elle n'est pas obtenue, une vis de dimensions plus importantes est mise en place ou la même vis peut être reposée ailleurs.
- Radiographie de contrôle.
- Mise en charge. Elle peut être immédiate ou différée.
- Consignes post-opératoires. Les suites opératoires sont simples et le plus souvent indolores. Antalgiques de pallier 1 et bains-de-bouche à 24h peuvent être prescrits mais ils ne sont pas systématiques. La brosse à dent manuelle souple classique est recommandée pour assurer l'hygiène de la tête de la vis.

La dépose se fait par dévissage, éventuellement par cryo-anesthésie au spray. Le faible taux, pour les vis en titane, ou l'absence d'ostéointégration, pour les vis en acier, simplifie la procédure.

3.8. Utilisation orthodontique

3.8.1. Mise en charge

Elle a pour modalités :

- son délai d'application : immédiate ou différée
- le type de force utilisée : continue ou intermittente
- l'intensité des forces utilisée
- sa durée

Ces critères étant de potentiels facteurs de risque, ils seront détaillés dans la revue de littérature.

3.8.2. Type de mécanique

2 types sont possibles (5, 44, 137, 148) :

- mécanique directe :

Le module de force est appliqué sur la vis qui constitue alors l'élément stable.

- mécanique indirecte : la vis sert d'ancrage à l'élément stable sur lequel est appliqué le module.

L'utilisation de mini-vis permet de s'affranchir de la réaction des ancrages conventionnels mais n'est pas pour autant indemne d'effets parasites. Les mécaniques sur vis sont complexes et impliquent une conception et une gestion maîtrisées par l'opérateur.

3.9. Complications (69, 71, 162)

3.9.1. Complications per-opératoires

- Traumatisme desmodontal ou radiculaire

La vitalité de la dent peut être compromise et des plages d'ankylose peuvent apparaître (37, 96). Sans implication pulpaire, des guérisons spontanées des lésions paradontales et dentaires ont pu être observées.

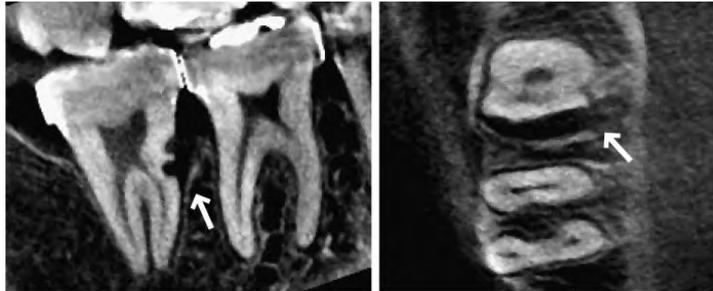


Figure 24: lésions radiculaires Miyazawa et al. (116)

- Dérapage de la vis

En cas d'insertion oblique et surtout sur une corticale dense, la vis peut glisser et se perdre entre muqueuse et périoste, imposant un lambeau pour la récupérer.

- Lésions neurologiques

La plupart sont mineures mais d'autres requièrent corticothérapie, microchirurgie, greffe ou laser. Elles concernent :

- le nerf grand palatin à l'émergence de son foramen
- le nerf mandibulaire dans son canal ou au niveau du foramen mentonnier
- en rétromolaire, les nerfs buccal et lingual.

- Lésions vasculaires

La structure vasculaire la plus exposée est la branche de l'artère palatine descendante. Sa lésion n'engendre pas de troubles trophiques de la muqueuse du fait de vascularisations complémentaire et collatérale. Le risque est avant tout prévenu par une connaissance parfaite de l'anatomie du site d'insertion retenu.

- Emphysème sous-cutané

Sont en cause la seringue air-eau ou l'utilisation d'instruments rotatifs à haute vitesse. Le phénomène est généralement spontanément résolutif sous 3 à 10 jours.

- Efraction sinusienne ou nasale

Du fait de leur diamètre réduit, les communications bucco-sinusienne ou bucco-nasale cicatrisent bien. En revanche, la perte de la vis dans ces zones anatomiques impose une prise en charge ORL.

- Déformations mécaniques : flexion, torsion et fracture

Les 3 phénomènes produisent des micro-craquelures osseuses affectant la stabilité de la vis. Une vis déformée ne doit pas être laissée en place. Un fragment cassé peut être laissé in situ selon sa taille et surtout la nature de son matériau ostéointégrable ou non.

- Douleur

Du fait de la faible anesthésie, le patient peut ressentir une compression intra-osseuse désagréable plus que douloureuse. La douleur est une alerte pour l'opérateur d'une éventuelle proximité radiculaire. En cas de douleur inexplicite, la vis doit être déposée.

3.9.2. Complications post-opératoires

- Perte de la vis ou mobilité

Le taux de succès des mini-vis est très confortable. Cependant, il arrive de manière non prévisible que celles-ci deviennent exagérément mobiles ou soient spontanément perdues, constituant les 2 principales causes d'échec. Les tentatives d'explications sont diverses et variées car de très nombreux facteurs entrent en jeu. Les taux de succès, d'échec et leurs facteurs seront abordés dans la 2^{ème} partie de ce travail.

Si les objectifs d'ancrage ne sont pas atteints :

- la repose est nécessaire en cas de perte ou de mobilité importante.
- le revissage, après asepsie et anesthésie, peut être tenté pour une mobilité moindre.

- Perte d'ancrage de la mini-vis

Des migrations sont parfois observées. Mais la vis peut rester cliniquement stable et remplir malgré tous ses offices d'ancrage. L'intensité des forces utilisées et la présence d'une zone de sécurité avec les structures anatomiques sont à vérifier.

- Lésions des tissus mous :

- Ulcération

Généralement de faible étendue et localisée autour de la tête de la vis ou sur la muqueuse en regard de la tête. La guérison est spontanée mais l'on peut placer, en complément des bains-de-bouche, un embout de cicatrisation, une boulette de cire ou un séparateur sur la tête de la vis pour éliminer l'épine irritative, améliorer le confort du patient et limiter le développement de l'inflammation.

- Hyperplasie et enfouissement de la tête de vis et des auxiliaires

Observés généralement en zone muqueuse, ces phénomènes peuvent être prévenus en plaçant la mini-vis en gencive attachée avec une longueur suffisante ou en laissant exposés 2 ou 3 tours de spires.

- Inflammation

La santé des tissus mous péri-implantaires joue un rôle important de barrière anti-bactérienne. L'inflammation est régulièrement incriminée comme facteur de risque impliqué dans les échecs des mini-vis. Le praticien doit prévenir la réaction inflammatoire et, pour cela, certains préconisent une pose en gencive libre et une mise en charge différée pour la cicatrisation muqueuse.

- Infection

Elle n'est que très rarement observée sur un terrain local et général sain.

- Péri-implantite

Elle correspond à une inflammation muqueuse autour de la mini-vis avec une perte osseuse clinique et radiologique évidente, saignement de contact, suppuration, infiltration épithéliale, et souvent mobilité associée.

- Douleur

Normalement absente à ce stade, une douleur inexplicable conduit à la dépose.

- Echec psychologique :

La littérature rapporte le cas d'un patient ne tolérant pas la mini-vis sur un plan psychologique (162). L'information et le consentement éclairé sont, comme toujours, de rigueur.

3.9.3. A la dépose

- Fracture

Le col est la zone de prédilection. La meilleure prévention tient du bon choix du diamètre et d'une technique de pose adéquate minimisant le risque de fracture à la dépose. Au besoin, un trépan peut être utilisé si la fracture ne laisse pas de spires supra-osseuses.

- Ostéointégration

Même partielle, l'ostéointégration peut rendre difficile la dépose. Le cas échéant, la mini-vis est habituellement facilement retirée quelques jours après la 1^{ère} tentative.

On comprend donc que malgré leur simplicité d'utilisation, les mini-vis doivent donc être prescrites avec précautions et leur pose, comme leur mécanique, doivent être simplifiées au maximum sur des cas sélectionnés attentivement.

PARTIE II: ANALYSE DE LA LITTÉRATURE, TAUX DE REUSSITE ET FACTEURS DE RISQUE

Les mini-vis ont constitué une petite révolution dans la pratique orthodontique (6) :

- leur petite taille permet de très nombreux sites d'insertion offrant donc de multiples applications biomécaniques. L'ingression molaire, par exemple, est réalisable.
- leur taux de réussite très confortable permet des les intégrer dans les plans de traitement de façon fiable et efficace pour le praticien.
- elles sont également efficaces car la coopération du patient est moins soumise à contribution. Les FEO peuvent être remplacées et les TIM diminuées.

Leur usage s'est donc largement répandu et passé dans la pratique courante. Cependant, leur introduction récente rend les mini-vis victimes de leur succès. Les causes d'échec restent mal délimitées et la connaissance des facteurs de risque avance mais reste à étayer. L'objet de cette recherche bibliographique est donc de faire le point sur la question.

Cette revue ne constitue pas une revue systématique au sens strict du terme car ciblée sur les sources scientifiques principales, à facteur d'impact élevé et indexées dans les bases de données Pubmed, Cochrane Database of Systematic Review (Cochrane DSR), Sciencedirect, Pascal et EM-Premium : American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, European Journal of Orthodontics, The Angle Orthodontist, Journal of Clinical Orthodontics, Clinical Oral Implants Research, International Orthodontics pour ne citer qu'eux. Des revues de chirurgie maxillo-faciale présentent également des publications sur le sujet.

D'autres résultats sont recherchés directement sur les moteurs de recherche des sites de journaux non indexés (ex : La revue d'orthodontie française).

Sur les bases anglophones, la recherche est faite selon les mots-clés « screw », « miniscrew », « orthodontic anchorage », « rate », « factor », « failure » et « success ». Pour les bases francophones, Pascal et EM-Premium, les mots-clés sont « vis », « minivis », « ancrage orthodontique », « taux », « facteur », « échec » et « succès ». Les mots-clés sont recherchés dans le contenu des publications.

Cette recherche constitue un préambule à une étude clinique dans le cadre du service d'odontologie du CHU de Ranguéil. Les mini-vis y sont posées classiquement dans les procès alvéolaires et les implants palatins n'y sont pas utilisés. Les publications les concernant ne seront donc pas abordées, sauf si elles apportent des informations sur les mini-vis classiques.

L'analyse de la littérature mise en évidence sera d'abord exposée sous l'angle du taux de réussite, puis nous détaillerons les nombreux facteurs de risque évoqués en les classant selon 5 catégories : hôte, site, mini-vis, protocole chirurgical et procédure orthodontique.

1. Taux de réussite

La bibliographie est foisonnante sur les vis : études in vitro, in vivo, humaines, animales, rétrospectives, prospectives (Annexe 3). Il convient d'en faire le tri. Ne sont donc rapportées, concernant le taux de réussite, que les publications de haut niveau de preuve selon les normes médicales de l'Evidence Based Medicine (EBM) : revues systématiques et méta-analyses.

Notre attention est focalisée sur le taux lui-même mais également sur les définitions ou critères de succès et d'échec, trop souvent flous ou passés sous silence.

Ces publications portant généralement aussi sur les facteurs de réussite et d'échec, elles seront donc reprises plus loin dans notre revue.

1.1. Revues systématiques

Skeggs R.M., Benson P.E., Dyer F., Reinforcement of anchorage during orthodontic brace treatment with implants or other surgical methods, Cochrane Database Syst Rev, 2008. (157)

Les auteurs évaluent l'efficacité des méthodes nécessitant de la chirurgie (ancrage osseux) en comparaison aux méthodes conventionnelles en interrogeant des bases de données sans restriction de langage. Ils ne visent que des essais cliniques randomisés ou quasi-randomisés et seule une étude est incluse et concerne les implants palatins. Celle-ci ne renseigne pas sur le taux d'échec sur lequel les auteurs ne peuvent pas conclure. Ils constatent le besoin d'essais contrôlés randomisés.

Cornelis M.A., Scheffer N.R., De Clerck H.J., Tulloch J.F.C., Nyssen-Behets C., Systematic review of the experimental use of temporary skeletal anchorage devices in orthodontics, Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2007. (31)

Cette équipe fait le point, chez l'animal, sur les connaissances acquises jusqu'à 2006 des réactions morphologiques et fonctionnelles autour des dispositifs d'ancrage squelettique temporaires mis en charge (mini-plaque et mini-vis). Les dispositifs doivent avoir un diamètre maximal de 2,2 mm. 8 études sont incluses dont 6 sur les vis. Le taux d'échec reste largement inexpliqué et varie de 0 à 19%. La notion de succès ou d'échec n'est pas abordée dans le détail. Les auteurs préconisent eux-aussi d'autres recherches basées sur des modèles expérimentaux bien contrôlés.

Janssen K.I., Raghoobar G.M., Vissink A., Sandham A., Skeletal anchorage in orthodontics – A review of various systems in animal and human studies, Int J Oral Maxillofac Implants 2008. (58)

Les auteurs se penchent sur les études de 1966 à 2006 de langue anglaise, animales ou humaines, concernant les implants ostéo-intégrés ou non (implant dentaire, mini-plaque, mini-vis). Sur les 49 articles inclus, 13 études rétro- ou prospectives traitent des mini-vis mais uniquement en titane. Les 9 études humaines rapportent des taux de succès de 70 à 100%. La définition du succès varie grandement entre les articles. Le minimum requis

étant la stabilité pendant la période de charge nécessaire. Les auteurs proposent leur propre définition dérivée de celle de Cheung :

- Ancrage assuré pendant la période du traitement orthodontique
- Absence de douleur et d'inconfort
- Absence de mobilité cliniquement décelable
- Absence d'infection muqueuse et osseuse
- Absence de dommage radiculaire
- Absence de paresthésie ou d'effraction du canal mandibulaire, d'un sinus maxillaire ou de la cavité nasale

Le taux de succès pourrait être amélioré si les causes d'échec étaient mieux comprises. Une explication possible des échecs est l'utilisation des vis dans des cas complexes à haut besoin d'ancrage. La nécessité d'essais cliniques prospectifs randomisés supplémentaires est mise en avant.

Reynders R., Ronchi L., Bipat S., Mini-implant in orthodontics : a systematic review of the literature, Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009. (138)

Les auteurs cherchent à quantifier succès et complications et abordent pour cela les études antérieures à 2008, de langue française, anglaise, allemande ou italienne, d'au moins 10 mini-vis de diamètre maximal 2,5 mm, définissant le succès et de mise en charge d'au moins 3 mois. 19 articles sont retenus avec une grande variation de définitions du succès, de la durée de la charge et de la qualité méthodologique. La plupart des articles rapportent des taux de plus de 80%. Une vis mobile et déplacée peut être incluse dans le succès qui, là encore, d'une étude à l'autre, a des définitions variées concernant les résultats et est évalué à des moments différents. La méthodologie et la clarté font défaut dans la plupart des études incluses et la nomenclature n'est pas arrêtée. Une méthodologie standardisée pour des études futures est proposée ainsi qu'un système de classification des variables (facteurs) et des définitions spécifiques.

Schätzle M., Männchen R., Zwahlen M., Lang N.P., Survival and failure rates of orthodontic temporary anchorage devices : a systematic review, Clin Oral Impl Res, 2009. (147)

Les auteurs étudient le taux de survie des implants palatins, des mini-plaques et des mini-vis en s'intéressant aux essais cliniques randomisés et aux études de cohorte rétro- et prospectives avec un suivi à au moins 12 semaines et au moins 10 unités par dispositif étudié. 27 études sont retenues dont 17 portant sur les vis soit 2374 vis pour 1196 patients. Le taux d'échec est de 16,4% à 12 semaines. Les critères d'échec ou de succès ne sont pas abordés. Les auteurs constatent le manque de précision des données recueillies.

Crismani A.G., Berti M.H., Celar A.G., Bantleon H.-P., Burstone C.J., Miniscrews in orthodontic treatment : review and analysis of published clinical trials, Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2010. (34)

Cette étude porte sur les essais cliniques publiés avant septembre 2007 avec au moins 30 mini-vis. 14 sont inclus représentant 1519 vis et 452 patients. Le taux global de succès est de 83,8%. Mais la question de la définition du succès et de l'échec n'est pas abordée.

Tsui W.K., Chua H.D.P., Cheung L.K., Bone anchor systems for orthodontic application : a systematic review, Int J Oral Maxillofac Surg, 2012. (170)

Les auteurs étudient mini-plaques, mini-vis, implants palatins et dentaires, et recherchent le meilleur système d'ancrage osseux selon la littérature obtenue par Pubmed et la librairie Cochrane de 1966 à 2010. Ils incluent des essais cliniques contrôlés randomisés ainsi que des études cliniques prospectives, en langue anglaise ou chinoise, concernant au moins 10 dispositifs. 55 publications sont identifiées dont 32 portant sur les vis. Leur taux de succès varie de 61 à 100% et ses critères ne sont pas abordés. Ce taux est légèrement inférieur à celui des plaques et des implants dentaires, du fait de la facilité à perdre la vis une fois mise en charge.

Une grande hétérogénéité des données est constatée.

1.2. Méta-analyses

Papadopoulos M.A., Papageorgiou S.N., Zogakis I.P., Clinical effectiveness of orthodontics miniscrew implants : a meta-analysis, J Dent Res, 2011. (132)

Les auteurs testent l'efficacité des mini-vis par comparaison aux moyens orthodontiques conventionnels. Ils n'incluent que des essais cliniques contrôlés, randomisés ou prospectifs, ainsi que des études de cohorte contrôlées rétrospectives, soit 8 études retenues.

Le taux de succès est évalué au travers du taux d'échec. L'échec étant défini par la perte ou la nécessité de déplacer la mini-vis ou de la remplacer.

Le taux de succès global calculé est de 87,7% (IC 95%). L'étude doit être interprétée avec précaution considérant le nombre de publications incluses, leur qualité et leur hétérogénéité.

Papageorgiou S.N., Zogakis I.P., Papadopoulos M.A., Failure rates and associated factors of orthodontic miniscrew implants : a meta-analysis, Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2012. (133)

Les auteurs s'intéressent au taux d'échec en n'incluant que des essais contrôlés randomisés, des essais contrôlés prospectifs et des études de cohorte prospectives, soit 52 études retenues. Un total de 4987 mini-vis pour 2281 patients. Les critères de succès et d'échec ne sont pas toujours fournis et ceux ressortant le plus souvent sont : stabilité, taux d'achèvement, infection, inflammation des tissus mous.

Le taux d'échec global obtenu est de 13,5% (IC 95%).

Dalessandri D., Salgarello S., Dalessandri M., Lazzaroni H., Piancino M., Paganelli C., Maiorana C., Santoro F., Determinants for success rates of temporary anchorage devices in orthodontics : a meta-analysis (n>50), Eur J Orthod, 2014. (35)

Les auteurs ne ciblent que les études publiées en anglais, allemand, français, italien ou espagnol. Elles doivent concerner l'in vivo humain, porter sur plus de 50 vis ou implants, en titane, être rétro- ou prospectives ou bien de type essai clinique randomisé.

Ils retiennent 26 publications (tableau 2) de nature disparate avec des données hétérogènes. Elles rapportent toutes un taux de succès de plus de 80%.

Seules 13 donnent leur définition du succès et aucune n'utilise exactement la même. Même pour des équipes d'auteurs dont plusieurs publications différentes ont été sélectionnées (Chen et al., Moon et al., Motoyoshi et al.).

Tableau 2: publications retenues par la méta-analyse de Dalessandri et al. (35)

Auteur	Définition / critères succès	Définition / critères échec
Antoszewska et al., 2009	Stabilité durant le traitement	NC
Bayat and Bauss, 2010	NC	Perte, inflammation péri-implantaire
Berens et al., 2006	NC	Perte
Chen et al., 2006	NC	Perte, infection, douleur
Chen et al., 2007	NC	Mobilité, inflammation tissus mous, douleur
Chen et al., 2008	Obtention des objectifs de traitement, pas d'inflammation	NC
Cheng et al., 2004	Capacité à assurer l'ancrage, absence d'inflammation et de mobilité clinique détectable	NC
Jung et al., 2012	Achèvement du traitement orthodontique actif	Mobilité
Kim et al., 2010	NC	NC
Kuroda et al., 2007	NC	NC
Lee et al., 2010	NC	NC
Lim et al., 2009	Stabilité primaire implantaire	NC
Luzi et al., 2007	Pas de mobilité implantaire	Perte
Mannchen and Schatzle 2008	Ostéointégration	NC
Manni et al., 2011	NC	Perte, inflammation
Miyawaki et al., 2003	Survie d'1an ou jusqu'à l'achèvement du traitement orthodontique	NC
Moon et al., 2008	Pas de mobilité 8ers mois après mise en charge	Délogement dans les 8ers mois

Moon et al., 2010	Force orthodontique applicable au moins 10 mois sans douleur ni mobilité décelable cliniquement ou objectif atteint	NC
Motoyoshi et al., 2009a,b	NC	NC
Motoyoshi et al., 2010	NC	Mobilité, perte
Park et al., 2006	Stabilité jusqu'à la fin du traitement	Perte
Sharma et al., 2011	Pas d'inflammation des tissus mous péri-implantaires, pas de mobilité décelable cliniquement, fonction d'ancrage assurée jusqu'à l'obtention de l'objectif	Perte spontanée, mobilité clinique sévère imposant le déplacement de la vis, infection, douleur, modifications pathologiques péri-implantaires des tissus mous
Takaki et al., 2010	NC	Mobilité, perte
Viwattanatipa et al., 2009	NC	Mobilité remarquable, délogement, infection
Wiechmann et al., 2007	Capacité à assurer l'ancrage pendant le traitement, absence d'inflammation et de mobilité décelable cliniquement	NC
Wu et al., 2009	NC	Perte ou fracture dans les 6 mois

2. Facteurs dépendant de l'hôte

L'analyse des facteurs de risque étant plus ciblée et les publications sur un facteur donné moins nombreuses que celles sur le taux de réussite, nous considérerons un éventail plus large de niveau de preuve.

2.1. Age

L'hypothèse selon laquelle l'âge aurait une influence sur les succès ou les échecs des thérapeutiques par mini-vis se base sur les différences de maturité osseuse existant entre les sujets jeunes et des sujets plus vieux. Les résultats sont mitigés.

Expérimentations in vitro, ex vivo et animales

Wang et al. (180), en 2010, ont comparé par micro-CBCT (cone beam computed tomography) la densité et le volume osseux ainsi que l'épaisseur corticale sur 8 chiens

adultes et 8 chiens adolescents, tous en denture adulte. 2 mini-vis symétriques mandibulaires étaient posées quelques minutes avant la mort des 16 chiens pour être ensuite soumises à un test de traction. Ces 4 paramètres étaient tous plus élevés chez les chiens adultes avec des différences statistiquement significatives. Les auteurs ont aussi pu corrélérer densité osseuse et force maximale de traction et concluent en disant qu'un âge faible pourrait raisonnablement être incriminé comme facteur de risque.

Etudes de cohorte rétrospectives

La plupart des études échouent à identifier l'âge comme un facteur influant sur le succès des mini-vis.

Jung et al. (61) en 2013 ont étudié l'angle d'insertion et autres facteurs de succès sur 130 patients et 228 vis. Ils n'ont pas trouvé d'association statistique entre âge (moins ou plus de 20 ans) et taux de réussite bien que le taux de succès soit supérieur dans le groupe plus âgé. Comme Kuroda et al. déjà 2007, dans leur étude sur le taux de succès et l'inconfort postopératoire portant sur 116 vis et 75 patients (70). L'âge est classé en : moins de 20 ans, 20 à 30, et plus de 30 ans.

Lim et al. (87) en 2009 et 2011 n'ont pas trouvé non plus d'association significative dans 2 études sur facteurs de stabilité initiale et prédictibilité du taux de succès portant l'une sur 378 vis et 154 patients, et l'autre sur 407 vis et 168 patients. Dans la 1^{ère}, le taux de succès augmente avec l'âge mais la tendance n'est pas significative. Dans la 2^{ème}, l'âge est découpé en 4 classes : moins de 15 ans, 15 à 20 ans, 20 à 25, plus de 25 ans. L'absence de corrélation est mise sur le fait que la stabilité était vérifiée à 1 semaine après insertion seulement.

Moon et al. ont également à 2 reprises testé l'âge dans 2 publications en 2008 et 2010 (117, 118). La 1^{ère} sur les facteurs associés au taux de succès dans les régions postérieures maxillaire et mandibulaire portant sur 408 vis et 209 patients. L'échantillon est sous-goupé en une population d'âge maximal 18 ans et une autre avec les 19 ans et plus. Cette division reposant sur le fait que la croissance est achevée pour la plupart des filles et la majorité des garçons à 18 ans. Ils concluent une absence de différence significative entre les 2 groupes mais constatent un taux de succès chez les adultes au maxillaire plus élevé. La 2^{ème} étude portait sur 778 mini-vis et 306 patients avec pour objet la relation entre typologie verticale et taux de succès. Les tranches d'âge sont 10-19 ans, 20-29 ans et 30-55 ans. Le taux de succès des adolescents est plus bas que les adultes mais l'âge ne peut être significativement lié au succès clinique.

Seule une publication trouvée rapporte un lien. Dans leur analyse des taux d'échec de 3 types de SAS différents en 2007, Chen et al. (24) ont étudié de nombreux facteurs sur un échantillon de 129 patients comptant 273 mini-vis. Leur étude multivariée fait ressortir que le plus grand facteur de risque est la combinaison chez les patients les plus jeunes de vis mandibulaires mésiales à la 2^{ème} prémolaire et destinées à des mouvements de protraction ou de rétraction. Selon ces résultats, seuls 3 facteurs sont statistiquement corrélés à l'échec dont un âge inférieur à 20 ans. La stabilité des SAS étant fournie par la rétention mécanique, la densité osseuse et l'épaisseur de l'os cortical joueraient un rôle majeur.

Cependant, le même auteur principal, en 2008, sur un effectif élargi à 492 vis et 194 patients, ne retrouve pas d'influence de l'âge. (25)

Etudes de cohorte prospectives

Baek et al. (3) investiguent sur le lien âge – succès dans leur étude de 2008 sur les mini-vis réinstallées au maxillaire (58 patients). Les vis sont réinstallées si perdues ou mobiles et 2 modalités sont décrites : réimplantation immédiate dans un espace adjacent ou entre 4 à 6 semaines au même endroit. La limite d'âge entre les adultes et les adolescents est fixée à 18 ans. Ni les vis installées initialement, ni celles réinstallées ne présentent de différences significatives entre les 2 groupes.

Kim et al. (64) aussi, en 2008, dans leur publication sur le couple de dépose (64 vis, 37 patients) constatent une absence d'influence significative de l'âge (en 2010, ils constatent un taux meilleur après 15 ans mais sur des implants palatins (67).

Même conclusion de Miyawaki et al. en 2003 dans une étude de 134 vis sur 51 patients groupés en moins de 20 ans, 20 à 30, et plus de 30 ans. (115)

Park et al. en 2006 (227 vis et 86 patients) ne parviennent pas non plus à identifier l'âge comme facteur d'influence et contredisent des résultats antérieurs (134).

Topouzelis, 82 vis sur 34 patients de 14 à 45 ans, (168) et Watanabe, 107 patients de 13 à 52 ans et 90 mini-vis, (181) arrivent au même résultat en 2012 et 2013.

En revanche, Lee et al. (77) dans une analyse de survie de 2010, 260 vis et 141 patients, concluent que les adolescents de moins 20 ans représentent un groupe à haut risque d'échec, spécialement immédiatement après la pose. Selon cette équipe, un suivi à long terme d'implants prothétiques conventionnels sur des adolescents de 13 à 17 ans a rapporté des résultats favorables, mais les mini-vis ont des caractéristiques variées, telles que leurs petites tailles et des directions transverses de force d'application.

Ludwig et al. (94) en 2011, établissent des différences dans les espaces interradiculaires en fonction du site et de l'âge (12 à 20, 21 à 40, 41 à 60 ans).

A contrario, Motoyoshi et al. (125), en 2010, corrélaient négativement couple d'insertion et âge sur 134 vis et 57 patients. Leur résultat s'expliquerait par la densité osseuse moindre des sujets les plus âgés. Les mêmes auteurs préconisaient en 2007 (120) de différer de 3 mois la mise en charge en os alvéolaire sur les adolescents.

Revue systématique

Dans leur revue, Crismani et al. (34) décrivent des résultats différents selon les études incluses mais ne permettant pas de conclure. Reynders et al. (138) ne retiennent pas l'âge comme facteur d'influence faute de contrôle de cette variable dans les publications sélectionnées.

Méta-analyses

2 méta-analyses (35, 132), observent un effet statistiquement significatif avec de meilleurs taux de réussite « chez le sujet de plus de 20 ans » pour l'une mais la présence possible de biais, de même pour l'autre « chez l'adulte » avec moins de perte d'ancrage. L'hypothèse invoquée est la densité osseuse et l'épaisseur corticale plus favorable chez le sujet âgé mais les auteurs sont réticents à tirer des conclusions catégoriques.

Une 3^{ème} (133), en revanche, ne trouve pas d'association entre l'échec et l'âge et suggère un biais dans les études présentant des résultats contradictoires, à savoir : l'inclusion d'autres types d'ancrage comme les mini-plaques ainsi que les différences d'épaisseur d'os cortical observées à la mandibule en mésial des 1^{ères} molaires entre adultes et adolescents.

2.2. Genre

Etudes de cohorte rétrospectives

10 abordent le sujet (24, 25, 61, 70, 86, 87, 97, 117, 118, 154). Les résultats sont plus univoques : une seule publication observe des différences significatives liées au genre : Manni et al. (97) en 2010, dans une analyse des facteurs influençant la stabilité, s'intéressent à 132 patients et 300 vis. Ils trouvent un taux de succès différent et meilleur chez l'homme difficile à interpréter. Même résultat avec Sharma et al. en 2011 (154). Lim et al. (87) en 2009 trouvent bien une tendance à moins de succès chez les sujets masculins, mais celle-ci n'est pas significative bien qu'une raison potentielle aurait pu être les forces de mastication plus élevées chez l'homme. En 2011, ils trouvent la même tendance, toujours non significative (86).

Etudes de cohorte prospectives

12 étudient un éventuel lien avec le genre (3, 67, 77, 94, 115, 121, 123, 134, 168, 178, 181, 192)

Seuls Baek et al. (3) observent un meilleur taux de succès chez les femmes. Ils interprètent leur résultat par le fait que leurs densité et épaisseur corticales inférieures seraient compensées par le couple d'insertion plus important généré par la morphologie conique des vis utilisées pour l'étude.

Ludwig et al. (94) constatent des différences significatives de largeur interradiculaire selon le genre et le site.

Revue systématique

Crismani et al. (34) ont étudié l'influence du genre sans trouver d'association significative avec le succès ou l'échec. Reynders et al. (138) ne retiennent pas le genre comme facteur d'influence faute de contrôle de cette variable dans les publications sélectionnées.

Méta-analyses

Aucune méta-analyse n'identifie pour l'instant le genre comme facteur de risque (35, 132, 133).

2.3. Rapports squelettiques

Avis d'auteurs

Ellouze et Darqué (43) décrivent le type d'os rencontré chez le patient hyperdivergent comme étant caractérisé par une corticale fine entourant un os trabéculaire de faible densité. Le pronostic est donc défavorable. De même, la procidence des sinus affinant les corticales peut constituer une situation d'échec.

Etudes de cohorte rétrospectives

Antoszewska, Park, Ludwig et Papadopoulos (1) publient en 2009 sur 130 patients et 350 vis autotaraudantes. Les causes d'échec potentielles correspondent à des facteurs cliniques variés mais la typologie verticale « deep-bite » montre des taux de succès plus élevés.

Chen et al. en 2008 (25) ne parviennent pas à lier typologie verticale et taux d'échec, mais une rétrusion mandibulaire importante constitue un facteur de risque. Kuroda et al. (70) testent aussi succès et relations squelettiques antéropostérieure (classe I, II, III) et verticale (FMA) mais échouent à démontrer une corrélation.

Moon et al. (118) consacrent une étude ciblée sur le sujet. Ils étudient la relation entre typologie verticale et taux de succès sur 306 patients et 778 mini-vis vestibulaires, maxillaires et mandibulaires, placées postérieurement. Il en ressort qu'il n'y a pas, dans cette étude, d'influence de la classe squelettique sagittale mais que le schéma vertical squelettique pourrait être un facteur de réussite car différents indicateurs présentent un lien statistique (notamment un FMA haut) avec le risque d'échec.

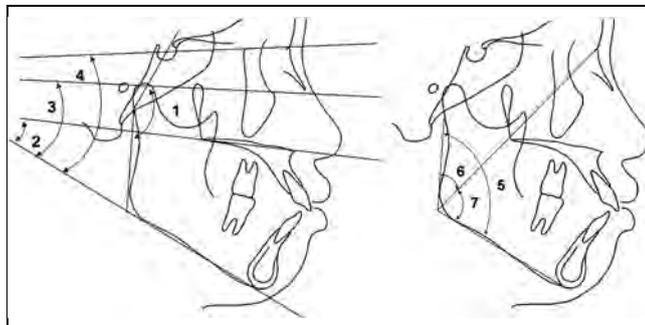


Figure 25: analyse de la typologie verticale par Moon et al. (118)

Sharma et al. (154) trouvent des résultats du même ordre : un angle du plan mandibulaire élevé est associé significativement à l'échec.

Etudes de cohorte prospectives

Miyawaki et al. (115) associent un haut FMA à la mobilité, donc à l'échec, et avancent l'hypothèse que l'épaisseur corticale des sites étudiés y est plus fine qu'avec un FMA bas. En revanche, rien de significatif n'est retrouvé avec les rapports squelettiques antéro-postérieurs.

Baek et al. (3) ne corrélient pas le schéma vertical et le taux de succès aux vis initialement posées ou réinstallées en postéro-vestibulaire au maxillaire. Cependant, les rapports sagittaux (ANB) pourraient jouer un rôle important de succès des vis posées initialement.

Les classes III squelettiques présentant un taux inférieur aux classes I et II de façon significative, une variabilité anatomique potentielle des classes III est avancée : densité osseuse maxillaire moindre, épaisseur corticale, force masticatrice, espace interradiculaire.

Cependant, Kim et al., à deux reprises (64, 67), constatent une absence de corrélation entre malocclusion squelettique (classe squelettique) ou typologie (FMA, GoGn/Sn, ANB) et succès. Watanabe et al. (181) ne relie pas non plus FMA et taux d'échec.

Revue systématique

Pour Reynders et al. (138) le contrôle des variables que représentent les typologies squelettiques verticale et antéro-postérieure n'est pas suffisant dans les publications sélectionnées pour permettre de les retenir comme facteur d'influence.

Méta-analyses

Une seule évoque des résultats en rapport avec la typologie verticale (FMA, GoGn-Sn) et les rapports squelettiques sagittaux (ANB) et ils ne permettent pas de faire un lien avec la réussite. (133)

2.4. Malocclusion

Etudes de cohorte rétrospectives

2 publications mentionnent les rapports dentaires sagittaux (classification d'Angle) (24, 25). Une autre teste l'encombrement (« encombrement », « normal », « diastèmes ») (118). Une dernière se penche sur les classes d'Angle et la supraclusion (moins d'1 mm, de 1 à 4 mm, plus de 4 mm) (154). Aucun lien n'a pu être établi avec succès ou échec.

Etudes de cohorte prospectives

3 études se penchent sur encombrement ou béance (présence / absence), et les rapports dentaires sagittaux (115, 168, 178), aucune ne trouve un lien.

Revue systématique

Pour Reynders et al. (138), l'encombrement ne peut être comptabilisé comme facteur influant.

Méta-analyses

Les méta-analyses n'abordent pas l'encombrement mais l'une d'elle (133) analyse le type de malocclusion (classe I, II, III) sans pouvoir conclure : trop faible nombre d'études et peu de corrélation retrouvée.

2.5. Habitudes néfastes

Seule l'étude de cohorte prospective de Topouzelis et al. (168) teste l'effet du tabac (fumeur / non fumeur) et ne retrouve rien de significatif.

Une méta-analyse (35) évoque une étude mais ne peut conclure.

3. Facteurs site

3.1. Caractéristiques osseuses

Avis d'auteurs

Pour Ellouze et Darqué (43), la qualité de l'os du site implantaire conditionne cicatrisation et stabilité primaire par, respectivement, sa vascularisation et sa densité.

Expérimentations in vitro, ex vivo et animales

Huja et al. en 2005 (53), démontrent, sur 56 vis posées sur 4 chiens et soumises à un test de traction, une corrélation entre épaisseur et force maximale de traction.

Motoyoshi et al. en 2008 (121) réalisent par modèles des éléments finis une recherche sur les contraintes osseuses et la stabilité de vis en titane selon une épaisseur corticale variant de 0,5 à 1,5 mm. Il en ressort qu'une corticale de plus d'1 mm améliore significativement le taux de succès.

Brettin et al. (14) en 2008 étudient 44 mini-vis placées sur 22 maxillaires et mandibules hémi-sectionnés prélevés sur des cadavres. Les vis sont ancrées de manière mono- ou bicorticale et une force perpendiculaire est appliquée jusqu'à obtenir un déplacement de 1,5 mm de la vis. Quelque soit le type d'ancrage, l'épaisseur de la corticale est en rapport avec la force de déflexion à la mandibule.

En 2012, Migliorati et al. (109) étudient le lien entre stabilité primaire et caractéristiques osseuses. 20 vis de 4 types sont insérées dans des segments de côte porcine. Un CBCT permet de préciser densités corticale et médullaire. Les vis sont soumises à un test de traction. Une corrélation est trouvée entre force maximale de traction et épaisseur corticale ainsi qu'avec densité médullaire. Résultats contradictoires à ceux de 2011 où la force maximale de traction n'est pas reliée à l'épaisseur corticale (110).

Shah et al., en 2012 aussi, ont publié sur les effets de différentes densités d'os synthétiques sur la stabilité de 216 vis (153). Ils établissent que l'augmentation de l'épaisseur et de la densité de la corticale augmentent la stabilité primaire. Cehreli et al. (16) corrélaient aussi densité osseuse et succès par une évaluation histologique, histomorphométrique et clinique (Périotest®) de la stabilité sur 72 vis insérées sur un os iliaque bovin in vitro.

La même année, Liu et al. (91) utilisent la méthode des éléments finis pour évaluer, entre autre, le rôle des paramètres osseux. Ils démontrent que les contraintes osseuses et le

déplacement de la vis diminuent avec l'augmentation de l'épaisseur corticale et que la densité trabéculaire ne joue qu'un rôle mineur.

Laursen et al. (74), étudient 27 échantillons humains de 3 à 5 dents. Il en ressort qu'au maxillaire, en vestibulaire et en palatin, et à la mandibule en vestibulaire antérieure, l'épaisseur est souvent inférieure à 1 mm, et donc à risque. Latéralement à la mandibule, la corticale est souvent épaisse de plus de 2 mm, donc de pronostic plus favorable.

Meira et al. (104), analysent le comportement biomécanique et font le lien entre force maximale de traction et épaisseur corticale.

Iijima et al. (54) mesurent sur des cadavres épaisseur corticale et densités minérales corticale et globale. Ces 3 variables sont significativement associées à la force maximale de cisaillement. La qualité et la quantité d'os cortical influence grandement la force nécessaire à la perte d'ancrage des vis.

Marquezan et al. (98) testent en 2014 la relation de l'os trabéculaire avec la stabilité primaire. 52 blocs osseux pelviens d'origine bovine de 2 densités différentes reçoivent une mini-vis. Ils sont décortiqués ou non. Un micro-CBCT permet d'apprécier les épaisseurs corticale et trabéculaire, le nombre de trabéculations, de séparations, et le rapport volume / densité. La stabilité est évaluée par le couple de désinsertion, le Periotest®, et un test de traction. Résultat : la stabilité augmente avec la densité et les indices de stabilité sont corrélés avec les variables osseuses mesurées avec et sans corticale. Les auteurs en concluent que l'os alvéolaire joue un rôle important dans la stabilité primaire des mini-vis de leur étude en présence ou non de corticale.

En 2011, Wei et al. (183) s'intéressent à 64 vis posées dans des fémurs de chiens vivants. Un test de traction ainsi que des mesures de l'épaisseur corticale sont réalisés après leur sacrifice qui intervient à 0, 3, 6, ou 9 semaines. Les vis insérées dans une corticale épaisse ont une meilleure stabilité que dans une corticale fine dans les phases précoces de cicatrisation.

Etudes de cohorte rétrospectives

Chen et al. en 2008 (25) étudient 492 SAS dont 321 mini-vis sur 154 patients. Leur taux d'échec augmente pour les basses densités osseuses, insuffisantes pour fournir un blocage mécanique permettant d'assurer la stabilité. Jung et al. en 2013 (61) sur 228 mini-vis et 130 patients ne corrèlent pas épaisseur corticale et taux de succès.

Etudes de cohorte prospectives

Déjà en 2005, Miyamoto et al. (114) montraient sur 225 implants dentaires un lien direct et fort entre épaisseur corticale et stabilité évaluée par analyse des fréquences de résonance.

2007, Motoyoshi et al. (121), 88 vis, 32 patients, ne trouvent pas de lien entre stabilité et hauteur ou largeur du site. En revanche, une corticale de moins d'1 mm apparaît comme un facteur de risque.

En 2008 (122), leur étude sur 65 patients démontre un lien directement proportionnel entre épaisseur corticale et taux de succès.

Ensuite en 2010 (125), ils établissent que le couple d'insertion, qui est un indice de stabilité, est corrélé avec l'épaisseur corticale au maxillaire.

En revanche, Min et al. (112) en 2012 échouent à corréliser épaisseur corticale et taux de réussite sur une étude portant sur 94 patients et 172 vis.

De même, Suzuki et al. (164) sur 105 patients et 106 vis courtes avec CBCT avant-après n'établissent pas de différences selon la densité osseuse.

Watanabe et al. (181) étudient différents facteurs de risques, dont la densité osseuse par CBCT, sur 107 patients et 90 mini-vis. Ils ne retrouvent pas de différences significatives de densité entre groupes succès et échec.

Revue systématique

Reynders et al. (138) ne retiennent pas la quantité d'os péri-implantaire ni l'épaisseur corticale comme facteurs d'influence faute de contrôle de ces paramètres dans les publications sélectionnées.

Méta-analyses

Une méta-analyse n'aborde pas le sujet (132), une autre l'aborde en expliquant une tendance entre âge et succès par la maturité osseuse (35). Une 3^{ème} corrèle clairement l'épaisseur de la corticale qui influence statistiquement le taux de réussite lorsqu'elle fait plus d'1 mm. Epaisseur soit mesurée au CBCT, soit attendue sur le site d'implantation lui-même reconnu comme faisant plus d'1 mm. (133). Cependant, sur les sites très denses ou très épais, une irrigation avec une solution saline est préconisée pour éviter un phénomène de surchauffe et de nécrose ischémique. Enfin, Marquezan et al. (99) montrent un lien positif entre épaisseur corticale et stabilité primaire mais des essais cliniques bien menés manquent.

L'influence des caractéristiques osseuses sera à nouveau mise en avant avec le rôle du site implantaire, de l'os receveur et des couples d'insertion et de dépose.

3.2. Localisation sur l'arcade

Avis d'auteurs

Pour Baumgaertel (148), tous les sites ne sont pas égaux face au taux de succès. L'anatomie, l'hygiène, l'accessibilité et donc la précision de la pose varient. Ellouze et Darqué (43) conseillent d'ailleurs d'éviter l'os tubérositaire dont la corticale est trop fine.

De plus, pour Kravitz et Kusnoto (69), au niveau des zones où la muqueuse est épaisse, comme le versant palatin, il est plus difficile d'obtenir une stabilité osseuse adéquate, contrairement aux zones où la muqueuse est fine.

Expérimentations in vitro, ex vivo ou animales

Tilotta et al. (167) ont étudié 24 maxillaires dentés humains. Entre 2^{ème} prémolaire et 1^{ère} molaire, ils préconisent de placer les vis à 5 mm minimum du sommet du septum osseux pour éviter les risques de lésions dentaire, sinusienne, vasculaire et nerveuse.

Woods et al. (190) implantent sur des chiens des vis sur des sites différents au maxillaire et à la mandibule. Quelque soit le site, la surface de contact os-vis est similaire.

Etudes de cohorte rétrospectives

La participation de la localisation sur l'arcade du site implantaire est envisagée dans 9 articles. 4 ne trouvent pas d'effet (25, 87, 97, 118). Une équipe (86) travaillant sur différents types d'ancrage démontre l'importance significative du site mais pour les implants palatins. Moon et al. (117) constatent à la mandibule que le site entre 2^{ème} prémolaire et 1^{ère} molaire présente un taux de succès inférieur aux 2 autres sites mésial et distal. Takaki et al. (165) observent des taux meilleurs au maxillaire en antérieur qu'en postérieur, et à la mandibule meilleurs en antérieur et postérieur qu'en rétromolaire. Kuroda et al. (70) trouvent plus de succès dans la zone prémolaire qu'en molaire. Les variations de qualité osseuse (épaisseur corticale), l'épaisseur des tissus mous, la hauteur de gencive attachée, les proximités radiculaires et une hygiène postérieure plus difficile sont les arguments avancés. Tseng et al. (169) présentent des résultats similaires

Etudes de cohorte prospectives

Deguchi et al. (39) étudient différents sites au CBCT : épaisseur corticale, distance entre surfaces osseuse et radiculaire, distance entre racines prémolaire et molaire. Au maxillaire, l'épaisseur est moindre en distal de 17 et 27 par rapport aux autres sites. Pour ces 2^{èmes} molaires, l'épaisseur est plus importante en palatin par rapport au versant vestibulaire. Sur ce versant, l'épaisseur est plus importante au niveau de l'épine nasale antérieure qu'au niveau du point A. A la mandibule, les épaisseurs corticales mésiale et distale de 37 et 47 sont supérieures à celle de 17 et 27. Les auteurs concluent que le site idéal est en mésial ou en distal des 1^{ères} molaires. Mais l'évaluation n'est que quantitative et ne porte que sur 10 patients.

15 publications trouvées s'intéressent au lien entre site et réussite.

Pour 8 d'entre elles, il n'y a pas de différence selon le site. Pour Baek et al. (3), que celui-ci soit mésial à la 1^{ère} ou la 2^{ème} prémolaire, à la 1^{ère} molaire, et que la vis soit posée ou reposée. Motoyoshi et al. publient 2 fois (120, 121), ce même résultat concernant des sites maxillaires « de la 2^{ème} prémolaire à la 2^{ème} molaire » d'une part, et d'autre part des sites mésiaux à la 2^{ème} prémolaire ou la 1^{ère} molaire. Topouzelis et al. (168) vont dans le même sens, que le site soit vestibulaire ou lingual. Wu et al. (192) également, que le site soit interdentaire, palatin, édenté ou rétromolaire. De la même manière, Park et al. (134) n'établissent pas de différence de réussite entre les sites de son étude de 2006 : à la mandibule, rétromolaire et entre 6 et 7 ; au maxillaire en antérieur, entre 5 et 6, entre 6 et 7 ; ou en palatin. Laursen et Melsen (74) retrouvent des taux d'échec supérieurs au maxillaire par rapport à la mandibule, et supérieurs en palatin par rapport au vestibule mandibulaire, mais les différences ne sont pas significatives. Chaddad et al. (18)

observent différents paramètres dans une analyse de survie sans pouvoir trouver de différence entre sites maxillaire et mandibulaire.

Parmi les 7 autres, Berens et al. (8), 133 vis, 49 patients, concluent que le taux de réussite est en relation avec le site anatomique et préconisent d'adapter le diamètre pour de meilleurs résultats : au maxillaire 1,3 mm en vestibulaire et 1,6 à 2 mm en palatin, à la mandibule 2 mm. La quantité d'espace interradiculaire, l'épaisseur corticale et la hauteur de gencive attachée motivent ces recommandations.

Selon Cheng et al. (27), le pronostic est moins bon sur des sites postérieurs et mandibulaires car la susceptibilité aux infections est plus élevée, les tissus kératinisés moins étendus, et l'os plus dense. Ils conseillent pour éviter la surchauffe de réaliser un préforage voire un prétraudage.

Liu et al. (93) ont analysé la perte d'ancrage des 1ères molaires maxillaires et des mini-vis lors de la rétraction en masse antérieure (vis mésial 1ère molaires) sur 60 adultes. Leur déplacement ne se faisant pas à la même vitesse, ils suggèrent un site plus mésial pour éviter les interférences radiculaires.

Ludwig (94) et al. ont consacré une publication sur le sujet. Ils constatent des différences selon l'âge et le genre :

- Au maxillaire, entre incisives latérales et centrales, les 21-40 ans ont un espace interradiculaire (EIR) plus adéquat à l'insertion de mini-vis que les 12-20 ans et les 41-60 ans. Entre 2ème prémolaires et 1ère molaires, ainsi qu'entre 1ère et 2ème molaires, les 21-40 ans ont un EIR plus adéquat.

- Les hommes au maxillaire ont plus d'EIR entre incisives latérales et centrales, ainsi qu'entre 2ème prémolaires et 1ère molaires. En revanche, les femmes ont plus d'EIR entre 1ère et 2ème prémolaires à la mandibule.

Autre résultat intéressant : ils relèvent que l'absence de 3ème molaire maxillaire est corrélée à plus d'espace entre 1ère et 2ème molaires.

Ils proposent une cartographie osseuse théorique de l'EIR et de l'épaisseur vestibulo-linguale. Ils remarquent que peu d'EIR sont adéquats en gencive attachée et conseillent de prendre le point de contact comme repère vertical.

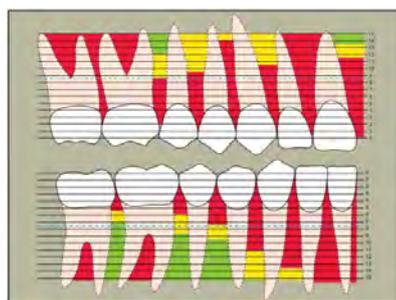


Figure 26: cartographie de l'EIR

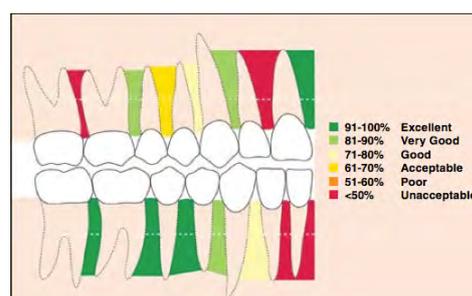


Figure 27: cartographie de l'épaisseur alvéolaire
Ludwig et al. (94)

Santiago et al. (145) examinent densité minérale osseuse et stabilité sur 30 vis posées en mésial de 6 ou de 7 lors de rétraction canine maxillaire. Ils en déduisent que ces sites sont sûrs pendant 90 jours et insistent sur la qualité de la technique chirurgicale et de sa planification, ainsi que le contrôle de l'inflammation et de l'hygiène.

Enfin, Wiechmann et al. et Berens et al. (9, 185), constatent qu'à la mandibule, le versant lingual est à proscrire. L'accès de la zone est médiocre et l'irritation continue par la langue.

Ils trouvent aussi un taux d'échec supérieur en palatin où la muqueuse épaisse jusqu'à 5 mm est responsable de l'augmentation du bras de levier de la vis.

Revue systématique

Pour Reynders et al. (138) le site molaire ou prémolaire ne peut être considéré comme facteur d'influence par manque de contrôle de ce paramètre dans les publications retenues.

Méta-analyses

Une méta-analyse associe site et succès à la mandibule si la vis est placée entre la 2^{ème} prémolaire et la 1^{ère} molaire. (132)

3.3. Maxillaire receveur

Avis d'auteurs

Pour Kravitz et Kusnoto (69), l'échec est plus fréquent au maxillaire, en dehors de la zone de la suture palatine, car la densité osseuse y est moindre et les trabéculations osseuses plus grandes.

En revanche, Darqué et Ellouze (43) évoquent, malgré une densité osseuse supérieure à celle du maxillaire, des taux d'échec habituellement supérieurs à la mandibule s'expliquant par les facteurs muccogingival (cf. infra) et musculaire. Les contraintes liées à la mastication et les micromouvements implantaires générés par l'environnement musculaire et la traction des muqueuses constituant des facteurs de risque d'instabilité.

Expérimentations in vitro, ex vivo ou animales

Iijima et al. (54) ont étudié les effets de la qualité et de la quantité d'os cortical sur les échecs de mini-vis ex vivo. La force de cisaillement nécessaire au déplacement des mini-vis ainsi que la dureté de la surface corticale sont toutes deux significativement supérieures à la mandibule.

Etudes de cohorte rétrospectives

L'influence de l'os receveur, maxillaire ou mandibule, est abordée dans 9 publications. 5 n'observent pas d'effet (25, 86, 117, 154) et 4 (24, 97, 118, 165) rapportent un lien positif soit entre succès et maxillaire, soit entre échec et mandibule. Ces derniers résultats semblent contradictoires avec le concept d'une épaisseur corticale mandibulaire supérieure produisant un meilleur taux de succès. Les facteurs mandibulaires avancés sont :

- la surchauffe au préforage sur un os plus compact. Manni et al. (97) prodiguent à ce titre des recommandations de réfrigération des mini-vis.
- le niveau de gencive attachée moins élevé,
- les sites d'insertion utilisés souvent postérieurs et donc facilement irritables par la mastication.

Les facteurs maxillaires invoqués sont :

- des sites utilisés plus souvent antérieurs,
- la quantité importante de tissu kératinisé,
- la meilleure vascularisation.

Etudes de cohorte prospectives

Dans ces études de cohorte prospectives, 8 évoquent le site selon l'os receveur.

Topouzelis et al. (168), et Wu et al. (192) ne trouvent pas de différences entre maxillaire et mandibule. Les autres (9, 72, 164, 181, 185) montrent des taux de succès meilleurs au maxillaire. Les hypothèses mandibulaires avancées sont :

- A nouveau le phénomène de surchauffe à plus de 47°C lors du forage. Une irrigation abondante et pas de pression verticale excessive sur le foret sont conseillées. Les forets usés étant à proscrire.

- Irritation à la mastication générant une source d'inflammation.
- Difficulté chirurgicale : accès compliqué par un vestibule étroit.
- Gencive attachée en quantité moindre.
- Espaces interradiculaires plus fins.
- Proximités radiculaires plus fréquentes.

Revue systématique

Selon Crismani et al. (34), le maxillaire est un site receveur plus adapté que la mandibule, corrélé à un taux de réussite plus favorable. Pour Reynders et al. (138), le site maxillaire ou mandibulaire ne peut pas être reconnu comme facteurs d'influence.

Méta-analyses

2 d'entre elles trouvent une tendance significative entre échec et sites mandibulaires (35, 133). Mais une 3^{ème} associe efficacité de l'ancrage vissé et site mandibulaire (132).

3.4. Latéralité

Avis d'auteurs

Ellouze et Darqué (43) évoquent la tendance naturelle des droitiers à distaler la pointe de la vis du côté droit.

Expérimentations in vitro, ex vivo et animales

Brettin et al. (14) ont travaillé sur des maxillaires et des mandibules de cadavres. Ils ne trouvent pas de différence de résistance aux forces de déflexion qu'ils appliquent sur les vis entre les côtés droit et gauche, et ce que l'ancrage soit mono- ou bicortical.

Etudes de cohorte rétrospectives

Bien que souvent testé, aucune publication ne trouve un lien entre succès ou échec et coté d'insertion (25, 61, 97, 117, 118, 154).

Etudes de cohorte prospectives

Le côté d'insertion est envisagé par 6 publications et 4 (3, 164, 178, 181) ne lui donne aucune influence. En revanche, Park et al. (134) et Wu et al. (192) arrivent à des résultats différents : le côté droit constitue un facteur de risque pour l'un et le côté gauche a moins d'échec pour l'autre. Les droitiers étant majoritaires dans la population générale, une meilleure hygiène à gauche par les patients est supposée, ainsi qu'une meilleure maintenance à gauche par le praticien.

Revue systématique

Pour Cornelis et al. (31), des répercussions du côté d'insertion telles que l'inflammation péri-implantaire et les résorptions radiculaires sont rarement rapportées dans les études animales. Selon Reynders et al. (138), le côté d'insertion n'est pas un facteur d'influence.

Méta-analyses

Papageorgiou et al. (133) concluent à l'absence d'effet du côté d'insertion reposant sur les hypothèses de mastication unilatérale ou de l'implication du côté dominant.

4. Facteurs vis

Les facteurs relatifs à la mini-vis elle-même, faciles à étudier, ont été l'objet de nombreuses publications.

4.1. Dimensions

La stabilité des mini-vis repose sur la rétention mécanique qui est conditionnée par la surface de contact biomatériau-os et une interdigitation mécanique entre os alvéolaire et vis. Dans ces conditions, il paraît logique de s'intéresser à l'impact du diamètre et de la longueur. La résistance mécanique du matériau ainsi que la distribution osseuse des contraintes doivent naturellement être soumises aux dimensions implantaires.

Avis d'auteurs

Baumgaertel (148) penche pour des vis plus courtes si, en effet, la résistance est liée à l'épaisseur et la densité de la corticale. Il constate la tendance à la diminution de la longueur.

Chillès et Riemenscheinder-Chillès (28) le rejoignent en prônant l'utilisation de mini-vis courtes de 5 mm. Enfouies, elles concilient, selon les auteurs, simplicité d'utilisation des vis transgingivales et fiabilité des mini-plaques.

Le niveau preuve est bas mais l'argumentation pertinente. Leurs avantages sont déclinés comme suit :

- Anatomiques :
 - Implantation extra-alvéolaire dans un os plus corticalisé et plus dense.
 - Limitées à la corticale, elles évitent le nerf alvéolaire inférieur et les racines
 - Absence d'interférences radiculaires pendant le traitement.
 - Longueur faible mais compensée par le diamètre (2 mm)
- Mécaniques :

La connectique est plaquée sur la surface osseuse et place le point d'action de la force à ce niveau. La distance avec le centre de résistance est donc faible et le bras de levier très diminué.

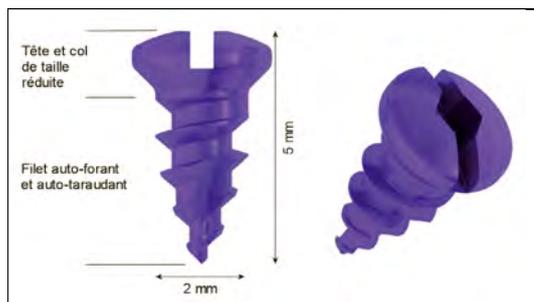


Figure 28: mini-vis courtes selon Chillès et Riemenscheinder-Chillès (28)

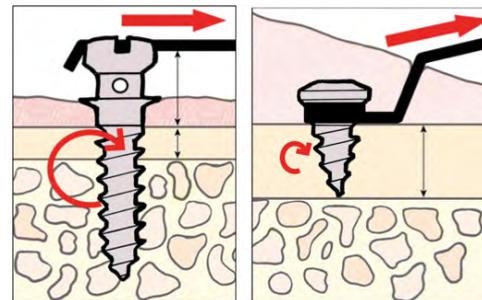


Figure 29: bras de levier selon Chillès et Riemenscheinder-Chillès (28)

- Biologiques :

Augmentation de la résistance au phénomène inflammatoire : la vis est déportée par rapport à la porte d'entrée muqueuse, elle-même de taille réduite.

Pour Darqué et Ellouze (43), l'augmentation du diamètre est gage d'une meilleure absorption des contraintes concentrées au niveau cervical.

Expérimentations in vitro, ex vivo et animales

La publication de Veltri et al. (177) ne donne pas d'influence au diamètre et à la longueur sur le succès ou l'échec. Iijima et al. (54) ne trouvent pas de lien entre longueur et force maximale de cisaillement jusqu'au déplacement de la vis. Tilotta et al. (167) ont étudié différentes longueurs de vis posées sur des maxillaires humains secs ou après injection de latex coloré dans le réseau carotidien. Ils rapportent que les vis courtes sont indispensables pour prévenir des risques de lésions anatomiques. Chatzigranni et al. (21) enregistrent le déplacement dans l'espace de 90 vis de différents diamètres et longueurs soumises à 2 types de force variant selon l'intensité. Il en ressort que diamètre et longueur sont des paramètres qui influencent la stabilité primaire pour un haut niveau de force appliqué. Gracco et al. (49) simulent la distribution des contraintes osseuses autour de vis insérées au maxillaire en variant leur longueur. Eux aussi ne trouvent pas de différence pour des charges faibles. Il existe cependant une longueur optimale pour un stress minimal confirmant l'influence de ce paramètre. Ces auteurs recommandent d'éviter 7 mm pour le risque de perte d'ancrage et 14 mm pour le risque de lésions anatomiques de voisinage.

Lim et al. (85), en s'intéressant à la relation couple d'insertion-morphologie-dimensions sur des blocs osseux artificiels, trouvent que longueur et diamètre jouent un rôle significatif dans la stabilité initiale mais mettent en garde contre la proximité radiculaire des vis surdimensionnées. Morarend et al. (119) comparent petits et gros diamètres et retrouvent un effet positif du diamètre au maxillaire comme à la mandibule. Lin et al. (88) se penchent sur les facteurs affectant les contraintes péri-implantaires avec la méthode des éléments finis. Ils montrent un lien statistique fort avec la longueur de vis exposée, rejoignant Chillès et Riemenscheider-Chillès (28) sur l'implication du bras de levier. Liu et al. (91) confirment : dans leur étude, le stress osseux et le déplacement des vis diminuent avec la longueur exposée. Le diamètre reste cependant le facteur dominant de la réponse biomécanique. Enfin, pour Wilmes et al. (188), qui ont testé résistance à la fracture in vitro, le moment où elle survient dépend du diamètre de façon hautement significative.

Etudes de cohorte rétrospectives

Les résultats contrastent avec les précédents : sur 5 publications, seuls Manni et al. (97) constatent un effet sur le diamètre avec un pronostic plus favorable dans le contexte de leur étude pour un diamètre de 1,3 plutôt qu'1,5 mm. Ils décrivent une meilleure stabilité primaire, un traumatisme minimal des tissus mous environnants et peu ou pas d'atteintes radiculaires. Mais selon leurs résultats, la longueur n'intervient pas. Les autres articles s'intéressent au diamètre et / ou à la longueur et observent parfois une tendance mais pas d'effet significatif (24, 70, 86, 87). Lim et al. (87) suggèrent une absence de lien par l'utilisation d'une plage de diamètres trop réduite (1,2 à 1,8 mm) et recommandent eux aussi un choix minutieux de la longueur par prévention des lésions radiculaires.

Etudes de cohorte prospectives

Les résultats sont très mitigés.

Deguchi et al. (39) prenant en compte épaisseur corticale, distance entre surfaces osseuse et radiculaire, et distances interradiculaires préconisent des dimensions idéales de 6 mm de long pour 1,3 mm de diamètre. Mais l'étude a un effectif faible et n'est que quantitative. El-Beialy et al. (41) étudient le déplacement de 40 vis sur 12 patients lors de rétraction canine maxillaire et mandibulaire. Ils ne constatent pas de corrélation entre ces mouvements et la longueur. Mais l'effectif est réduit. De même, Viwattanatipa et al. (178) ne trouvent pas d'effet de la longueur. Sarul et al. (146) trouvent des résultats contradictoires dans une étude bien menée. En effet, 54 vis sont posées sur des sujets tous féminins, hyperdivergents, en classe I squelettique, droitiers, en gencive attachée entre 5 et 6 à la mandibule. Chaque patiente reçoit une vis de 6 mm et une de 8 mm pour un diamètre identique et le côté est randomisé. A 2 semaines une mise en charge continue de 100 à 150 gr est réalisée. Les mini-vis de 8 mm sont statistiquement plus stables. Suzuki et al. (164) testent l'hypothèse qu'une vis courte diminue la possibilité de dommage radiculaire mais augmente le taux d'échec. Les longueurs utilisées sont les plus courtes disponibles (5, 6 ou 7 mm) et leur attribution randomisée. Pour le diamètre des vis de l'étude, 1,3 mm, ils ne montrent pas d'impact de la longueur au maxillaire et recommandent donc une longueur de 5 mm au maxillaire. A la mandibule, avec 5 mm le taux de succès est significativement plus bas qu'avec 6 et 7 mm. Ils préconisent donc 6 mm à la mandibule. Selon eux, une longueur trop courte est un facteur de risque et, pour

un diamètre de 1,3 mm, un minimum de 3,8 mm est nécessaire dans l'os alvéolaire mandibulaire. Miyawaki et al. (115) arrivent à la conclusion que le diamètre est un facteur d'influence car ils mesurent des taux de succès significativement plus faibles pour un diamètre d'1 mm (100% d'échec) par rapport à 1,5 et 2,3 mm. Ils recommandent d'adapter le diamètre à la typologie. Park et al. (134) ne parviennent pas à trouver un effet du diamètre ou de la longueur mais recommandent par prudence un diamètre minimal de 1,2 mm. Chaddad et al. (18) non plus ne corrélient ni diamètre, ni longueur à la réussite. Topouzelis et al. (168), au contraire, observent des taux statistiquement plus favorables pour 8 que pour 10 mm de long et pour 1,2 plutôt que pour 1,4 mm de diamètre. Ils mettent ces résultats sur le compte de différences inhérentes au site et citent l'exemple du palais où les vis sont plus longues et plus grosses et où le taux d'échec est plus élevé qu'en vestibulaire. Wiechmann et al. (185) ainsi que Berens et al. (9) montrent un effet du diamètre mais pas de la longueur. Selon ces équipes, la longueur devrait pourtant intervenir car une vis plus longue, si elle est vissée jusqu'à la tête, augmente sa surface de contact osseux. Mais à diamètre équivalent, le risque de fracture et de blessure des structures de voisinage augmente. Berens et al. (9) analysent pour cela la survie des vis pour la 1^{ère} moitié des patients et cherche des facteurs de risque. Ils appliquent alors ses résultats à la 2^{ème} moitié et passent d'un taux de perte de 23 à 5%. Pour cette 2^{ème} moitié, ils utilisent des vis plus fines (1,5 mm) au maxillaire en vestibulaire et plus épaisses (2 mm) en palatin et en vestibulaire à la mandibule. La proximité radiculaire maxillaire est l'explication avancée. A la mandibule, selon eux, une vis de moins de moins de 2 mm de diamètre n'a pas la stabilité requise pour tarauder un os si dense. Enfin, Wu et al. (192) arrivent aux mêmes résultats, effet seulement du diamètre. Ils obtiennent des taux d'échec plus favorables en utilisant pour la mandibule un diamètre de plus de 1,4 mm et au maxillaire moins de 1,4 mm et conseillent ces diamètres là.

Revue systématique

Crismani et al. (34) retrouvent une association significative entre succès et dimensions pour les vis de 1,2 mm de diamètre et d'au-moins 8 mm de longueur. Elles sont suffisamment stables et réduisent le risque de dommage radiculaire.

Chen et al. (26) n'apportent que peu d'information : la sélection de la taille de la vis est d'abord fonction de la quantité d'os disponible.

Reynders et al. (138) décrivent des publications dont le diamètre est compris entre 1,0 et 2,3 mm. En deçà, le risque augmente significativement par exposition aux fractures du fait de la diminution de la résistance à la torsion. Ceci étant, l'étendue des diamètres qu'il recommande est trop vaste pour être utile au clinicien. Concernant la longueur, faute de contrôle des études, elle n'est pas retenue comme facteur influant.

Méta-analyses

Aucune des 3 méta-analyses ne concluent sur le rôle du diamètre ou de la longueur (35, 132, 133).

4.2. Nombre

Seulement 3 publications ont été trouvées.

Avis d'auteurs

Pour Darqué et Ellouze (43), en cas de corticale fine (hyperdivergence ou sinus procidents), une 2^{ème} mini-vis peut être indiquée.

Expérimentations in vitro, ex vivo et animales

Leung et al. (83) explorent la stabilité primaire de mini-vis et mini-plaques insérées par 2 sur un os bovin standardisé et connectées. Une force uniaxiale est appliquée au point médian de la connection. Ils observent la déformation de la connection au niveau de la vis qui se fracture avant de se désinsérer. Ils concluent sur la supériorité des plaques sans renseigner véritablement sur les vis.

Etudes de cohorte prospectives

Topouzelis et al. (168) examinent l'influence du nombre de vis par patient et démontrent étonnamment une corrélation avec le taux d'échec. Pour chaque vis supplémentaire par patient, après la 2^{ème}, la probabilité de succès diminue de 67%. Une hygiène orale rendue encore plus ardue et la présence d'inflammation sont évoquées. Au préalable, Chen et al. (24) avaient étudié ce paramètre mais sans retrouver de différence significative.

Une étude de Kim et al. (67) sur les implants palatins peut, peut-être, renseigner sur les mini-vis. Leur taux de succès est nettement amélioré quand 2 vis sont connectées.

Revue systématique

Pour Schätzle et al. (147), la fiabilité d'un traitement requérant plusieurs mini-vis est discutable : si le traitement est long ou important, les déplacements dentaires imposent un déplacement des vis pour éviter les interférences radiculaires. Ils préconisent l'ancrage osseux uniquement pour les traitements qui ne pourraient être conduits différemment et recommandent l'usage des mini-plaques ou des implants palatins plutôt que les mini-vis.

Méta-analyses

Une méta-analyse associe positivement succès et nombre quand 2 vis par mâchoire sont présentes (132).

4.3. Matériau

Les approches de la question sont rares dans la littérature et force est de constater que la quasi-totalité des publications porte sur des vis à base de titane.

Avis d'auteurs

Selon Ellouze et Darqué (43), l'alliage $\alpha\beta$ Titanium, par rapport au TCP, est plus résistant à la fracture et à la corrosion. Son inertie chimique lui confère une excellente biocompatibilité. Le risque de fracture à la dépose existe cependant.

L'acier offre une meilleure résistance à la déformation mais un risque allergique au nickel supérieur (1 à 2% des cas) et un coût supérieur.

Expérimentations in vitro, ex vivo et animales

Muguruma et al. (126) explorent les propriétés de torsion de 3 types de vis à base de titane : TCP, $\alpha\beta$ Titanium et β Titanium. L'angle de torsion et le moment de torsion cyclique à la fracture (charge jusqu'à la fracture) sont mesurés. L' $\alpha\beta$ Titanium et le β Titanium nécessitent plus de couple et ce dernier montre un angle de torsion à la fracture plus important. Les auteurs concluent ainsi qu'étant donné les excellentes propriétés de torsion de l'alliage β Titanium, il est le mieux adapté à la commercialisation.

Brown et al. (15), partant du constat que les propriétés mécaniques et histologiques des vis en acier ont été peu étudiées, testent 48 vis acier et 48 vis titane sur des tibias de lapins. Après une mise en charge est immédiate et continue de 6 semaines, ils explorent stabilité, couple d'insertion, contact os-implant et micro-dommages osseux. Tous les implants sont stables et les réponses histologiques sont similaires. La seule différence remarquable à noter est un couple d'insertion plus élevé avec l'acier, ce qui va dans le bon sens pour améliorer la stabilité primaire. Mais impossible de conclure quant à une différence d'efficacité clinique.

Singh et al. (156) analysent par la méthode des éléments finis la distribution des contraintes et le déplacement de 2 types mini-vis soumises à des charges horizontales et de torsion, avec et sans ostéointégration. Ils ne constatent pas de différence entre vis en acier (ASTM 316L) et vis en titane ($\alpha\beta$ Titanium).

Chen et al. (23), dans une publication concernant les implants palatins, donnent des éléments de réponse peut être transposables aux mini-vis alvéolaires. 2 modèles virtuels sont construits pour appliquer, là aussi, la méthode des éléments finis. Les résultats montrent légèrement plus de contraintes sur l'implant non ostéointégré et ils concluent que les effets sont quasiment les mêmes. Ainsi le titane n'est pas forcément incontournable (et donc un délai de cicatrisation non plus).

Gour (48) teste TCP, alliage de titane ($\alpha\beta$ Titanium) et acier inoxydable écroui à froid sur des vis de même conception, même diamètre et même longueur, insérées dans des blocs d'os synthétiques homogènes. L'acier apparaît comme le matériau de choix par ses propriétés mécaniques supérieures, performances en flexion et en traction, par la durée de vissage et par sa ductilité moindre sous des contraintes de torsion.

Etudes de cohorte prospectives

Peu d'études nous parviennent. Eliades et al. (42) contribuent mais apportent peu d'informations. 11 vis en titane sont déposées sur 5 patients après utilisation n'ayant rencontré ni mobilité ni perte. L'observation en microscopie optique et électronique ainsi que l'étude spectrométrique révèlent des altérations de l'état de surface. Ils notent l'adsorption de composés calcifiés résultant du contact de l'implant avec les liquides biologiques. Cependant l'utilisation au long cours ne semble pas affecter leurs propriétés mécaniques et leur dépose est simple. Ils ne constatent pas de modification du volume de la structure du matériau. Le TCP et l' $\alpha\beta$ Titanium sont adaptés à leur usage de dispositifs médicaux invasifs provisoires.

Revue systématique

Pour Cornelis et al. (31), les vis en titane offrent des conditions d'ancrage structurelles et fonctionnelles compatibles avec le concept d'ostéointégration de Brånemark (13). Leur stabilité clinique est suffisante même pour des niveaux d'ostéointégration de seulement 5%. En dessous de 25% d'ostéointégration, leur dépose reste facile.

Méta-analyses

Aucune des 3 méta-analyses ne statuent sur l'influence du matériau, l'une d'entre elles n'envisage que les vis en titane (35), une autre (133) les énumère par fabricant seulement.

4.4. Morphologie

Avis d'auteurs

Baumgaertel (148) décrit des mini-vis dont la tête présente une gorge ou un bracket. Avec une mécanique indirecte, un effet de torque peut donc s'exercer sur la vis. Selon lui, la création d'un moment n'est pas forcément délétère et pourrait même s'avérer être un facteur de stabilisation mécanique selon la configuration de la vis et du moment en question.

Pour Melsen (106), les mini-vis côniques ont une meilleure stabilité mais une moins bonne résistance à la traction.

Nienkemper et al. (131) présentent les mini-vis dont la tête présente un pas de vis interne comme plus résistantes aux sollicitations biomécaniques. En effet, elles permettent la mise en place stable vissée de différents piliers. Mais cette connection est possible surtout pour les implants palatins dont le couplage avec une suprastructure est déterminant dans le succès.

Expérimentations in vitro, ex vivo et animales

Cehreli et al. (16) ont comparé 72 vis autoforantes et autotaraudantes insérées sur un os iliaque bovin in vitro et apprécié leur stabilité subjectivement et par Periotest®. Une évaluation histologique et histomorphométrique a complété l'analyse. Les résultats

montrent une meilleure surface de contact os / mini-vis avec les autoforantes mais pas de différences parlantes de taux de succès avec les autotaraudantes.

Lim et al. (85) observent que les vis cylindriques ont un couple d'insertion maximal atteint avant le vissage complet contrairement aux vis coniques pour lesquelles il est obtenu en toute fin de vissage. Pour les vis cylindriques, la durée de vissage est donc plus longue et le couple d'insertion variable mais plus de recherches sont nécessaires pour tirer des conclusions.

Mischkowski et al. (113) étudient la stabilité primaire sur différentes vis et arrivent à la conclusion que d'une part, les vis coniques sont bien plus performantes que les cylindriques, et que d'autre part, l'insertion de vis autoforantes tend à augmenter cette stabilité.

Chang et al. (19) considèrent que les restrictions de diamètre et de longueur des mini-vis rendent la conception de leur forme d'autant plus importante pour leur stabilité primaire. Surtout sachant que les échecs ont lieu dans les 1ers temps suivant la pose. Ils étudient profondeur du filetage, degré de conicité et longueurs et observent d'éventuels effets sur le couple d'insertion, la force de traction maximale, la rigidité et le déplacement de la vis avant perte. La méthode des éléments finis est appliquée pour 4 types d'implants sur un os artificiel de densité homogène. Pour un diamètre externe de 2 mm, une profondeur du filetage de 9,8 mm et un pas de vis de 0,75 sont préconisés pour générer le moins de contraintes sur l'os et le filetage et le moins de perte d'ancrage de la vis.

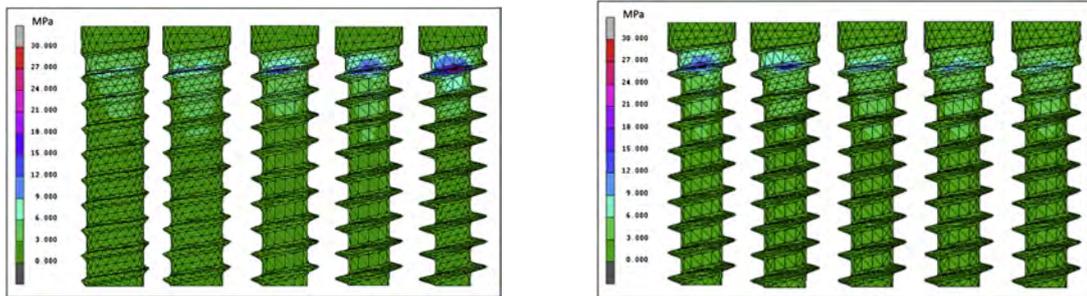


Figure 30: répartition des contraintes selon la profondeur du filetage par Chang et al. (19)

Figure 31: répartition des contraintes selon la conicité par Chang et al. (19)

La résistance maximale à la traction est obtenue pour un ratio noyau / diamètre externe de 0,68. Selon cette équipe, la morphologie affecte donc considérablement les propriétés mécaniques des mini-vis.

Migliorati et al. (109) corrélient positivement pas de vis et couple d'insertion maximal et donc vraisemblablement leur stabilité. Dans une autre étude (110), ils testent traction et filetage : mesure de sa profondeur et de son pas de vis. Ces 2 paramètres ainsi que leur rapport sont des prédicteurs significatifs de la force maximale de traction avant arrachement et entrent en jeu dans les compétences mécaniques des dispositifs étudiés.

Motoyoshi et al. (123) comparent des mini-vis à col lisse ou à col fileté conventionnel par la méthode des éléments finis. Les vis à col classique voit apparaître pour les charges importantes un comportement anisotrope (i.e. une dépendance directionnelle) qui pourrait être un facteur d'échec. Ils recommandent donc l'usage et le développement de ces vis sans filetage cervical ou l'insertion profonde des vis classiques, au-delà de la partie filetée, pour améliorer le taux de succès.

Singh et al. (156) en comparant acier et titane montrent une flexion cervicale du titane sous l'effet d'une charge horizontale orthogonale à la vis.

thermiques, et génère moins de complications. Cependant les vis autotaraudantes restent indiquées sur les zones de fortes densité et épaisseur corticale.

Son et al. (158) arrivent à des résultats similaires : ils se penchent sur 70 patients représentant 140 vis, réparties moitié-moitié autoforantes-autotaraudantes. Ils examinent, entre autre, taux de succès, couple d'insertion, Periotest® et arrivent à la conclusion que les 2 types sont hautement stables. Les autoforantes présentant des valeurs supérieures mais la différence est sans influence sur le taux de succès.

Türköz et al. (171) présentent des résultats différents. Ils ont conduit une étude randomisée sur 62 adolescents et 112 vis. 3 groupes ont été constitué : 2 avec chacun un pré-trou de diamètre différent et un sans pré-trou. La stabilité avant et après mise en charge mesurée est similaire entre les groupes préforés mais différentes entre ces derniers et le groupe sans pré-trou. Les vis autoforantes ont un meilleur taux de succès après mise en charge et une meilleure stabilité à 1 mois. Les auteurs expliquent cela par des dommages osseux moindres qu'avec un préforage mais conclut sur la nécessité de clarifier la stabilité clinique à long terme.

Yoo et al. (194) ont comparé 227 vis autoforantes cylindriques et coniques au maxillaire et à la mandibule et observé un taux de succès similaire. Ils notent quand même des différences significatives pour les vis coniques avec au maxillaire avec un couple d'insertion supérieur et à la mandibule avec des valeurs du Periotest® inférieures.

Park et al. (134) ne trouvent pas de différence entre plusieurs types de vis mais ne détaillent pas leurs caractéristiques.

Revue systématique

Reynders et al. (138) constatent le manque de contrôle des études retenues dans leur revue et ne peuvent retenir le type de mini-vis comme facteur.

Méta-analyses

Une des 3 méta-analyses s'y intéresse (133) mais ne peut identifier statistiquement la morphologie du filetage, auto-forant ou non, comme facteur de risque ou de réussite.

4.5. Etat de surface

Expérimentations in vitro et ex vivo

Kim et al. (63) étudient l'effet de micro-rayures sur le taux de succès et l'adaptation des tissus mous sur des chiens. Ils utilisent des vis contrôle et d'autres rayées. La surface de contact os-implant et les aires osseuses de pression et de tension sont mesurées après 17 semaines de mise en charge sous 200 à 300 gr. Ils observent avec les vis portant les micro-rayures :

- un taux de succès meilleur,
- un contact os-implant plus important du côté pression,
- une réorganisation perpendiculaire ou circulaire des tissus de connexion fibreux gingivaux alors qu'ils apparaissent parallèles sans rayures.

Leurs conclusions restent cependant prudentes et formulées au conditionnel.

Etudes de cohorte rétrospectives

Kim et al. (65) ont aussi exploré la stabilité de 16 mini-vis mordancées et sablées avec une granulométrie importante lors de la rétraction en masse des 6 dents antérieures maxillaires. Un CBCT est réalisé avant et après traitement. Les auteurs n'observent pas de différences significatives et concluent que la stabilité de ce type de vis est établie. Li et al. (84) avaient déjà travaillé sur ce type de traitement de surface mais sur des implants dentaires en comparant 2 traitements : sablage et mordançage d'une part, usinage et mordançage d'autre part. Ces résultats pourraient être transposables aux mini-vis qui ne sont pas documentées sur le sujet. Le couple de dépose avec sablage est nettement et statistiquement supérieur.

Etudes de cohorte prospectives

Sebbar et al. (151) comparent 10 mini-vis en titane utilisées à 4 neuves. Même neuves, il existe des défauts d'usinage constituant des points d'élection potentiel d'attaque électrochimique. Ils constatent sur les vis utilisées des attaques corrosives sous forme de piqûres et de crevasses localisées à toute l'étendue des vis. Ils n'apportent que peu d'informations quant aux risques et concluent en reconnaissant la nécessité d'une amélioration de l'état de surface pour une meilleure prévention de la corrosion.

Chaddad et al. (18) étudient sur 10 patients la survie de 17 vis usinées et 15 vis sablées-mordancées, toutes en titane. La mise en charge est immédiate et différents paramètres sont évalués à 7, 14, 30, 60 et 150 j. Les différences de taux de survie selon les caractéristiques de l'état de surface des mini-vis s'avèrent non significatives. Cependant, les vis sablées-mordancées montrent des valeurs de couple de dépose significativement plus élevées.

Méta-analyses

Abordé par 2 méta-analyses (35, 133), mais ne pouvant conclure sur le sujet des traitements usiné / sablé-mordancé et taux de réussite.

5. Facteurs chirurgicaux

5.1. Opérateur

Peu d'informations sont disponibles dans la littérature.

Avis d'auteurs

Sans se prononcer clairement sur l'impact de l'opérateur, Baumgaertel (148) est d'avis que le choix pour la pose d'un opérateur qualifié en chirurgie orale ou en orthodontie repose sur :

- l'ergonomie du cadre d'exercice pour les procédures chirurgicales
- l'entraînement du praticien
- son réseau de correspondant

Cependant, la pose par l'orthodontiste lui paraît préférable pour :

- éviter les erreurs de communication avec le chirurgien
- réduire les coûts
- mettre en charge immédiatement
- affiner la précision du positionnement

Etudes de cohorte rétrospectives

Chen et al. (25), dans une publication d'effectif important de SAS (n = 492), rapportent un taux global d'échec bien plus important quand la pose est faite par un orthodontiste plutôt que par un chirurgien oral. Mais les orthodontistes posent uniquement des mini-vis autoforantes alors que les chirurgiens posent les autotaraudantes et les mini-plaques. En ciblant la comparaison sur le taux spécifique d'échec des mini-vis autoforantes, les auteurs ne trouvent pas de différences significatives entre orthodontistes et chirurgiens.

Lim et al. (87) testent l'expérience de l'opérateur en utilisant comme indicateur le nombre de poses antérieures et ne trouvent aucun effet sur la stabilité. Dans une 2^{ème} publication (86), ils testent un nombre d'insertions préalables de l'opérateur supérieur ou inférieur à 20. Ils retombent sur le même résultat : pas de correspondance significative.

Etudes de cohortes prospectives

Lee et al. (77) évaluent l'effet de l'opérateur en comparant les résultats des 2 opérateurs d'une étude antérieure. L'un ayant posé 174 vis avant l'étude sur 30 ans, et l'autre ayant 10 ans de recul et 86 vis à son actif. Aucun lien n'est retrouvé.

Kim et al. (67) montrent que l'expérience de l'opérateur est cruciale pour le taux de réussite. L'étude concerne les implants palatins mais selon les auteurs, ce facteur d'influence devrait se retrouver aussi pour les vis vestibulaires.

Méta-analyses

2 méta-analyses (35, 133) s'y intéressent et n'établissent de caractère opérateur-dépendant du succès ou de l'échec, le nombre d'études ne permettant pas de statuer.

5.2. Pré-trou

Avis d'auteurs

Baumgaertel (148) considère que la préparation du site implantaire est plus fonction de l'anatomie locale que de la conception de la mini-vis. En effet, un pré-trou n'est pas forcément obsolète avec une vis autoforante si la corticale est épaisse et dense. Selon lui, une perforation de la corticale seule suffit et un pré-trou de routine ne peut pas être recommandé car il diminue la stabilité primaire sur les sites à corticale fine.

Rapports de cas

Maino et al. (96) font état de 2 patients pour lesquels des lésions radiculaires ont été imputées au contact avec la vis ou le foret. Le préforage peut donc être un facteur de risque pour la stabilité, mais aussi pour les structures anatomiques de voisinage.

Expérimentations in vitro, ex vivo ou animales

Ure et al. (176) testent l'efficacité du pré-trou sur la stabilité (mesures à l'Osstell Mentor®) et les échecs de mini-vis chez le chien. Les diamètres respectifs du pré-trou et des vis sont de 1,1 et 1,6 mm. Ils ne trouvent pas de différences.

Massif et al. (100), de leur côté, ont utilisé 2 types de vis posées manuellement avec ou sans préforage dans une lamelle d'os cortical fixée sur un capteur mesurant la force verticale. Avec pré-trou, la force verticale maximale est moindre et le point de rupture au-delà duquel la vis tourne dans le vide recule significativement. L'équipe explique ces résultats par le fait que le vissage sans pré-trou provoque un délabrement de la couche osseuse superficielle par l'apparition de micro-fractures limitant les possibilités de blocage. Un pré-trou, de diamètre adapté à celui de la vis, doit logiquement optimiser la stabilité primaire.

Uemura et al. (174) ont travaillé chez le rat pour chercher le bon rapport de diamètres entre pré-trou et mini-vis. L'observation de la surface de contact os-vis et des mesures au Periotest® ont établi une stabilité obtenue pour rapport de diamètres compris entre 69 et 77% dans ce cadre expérimental. Selon Wilmes et al. (186, 188), le pré-trou doit être sous-dimensionné de 0,5 mm pour les vis de 1,6 et 2 mm de diamètre et 10 mm de long utilisées dans un de ces travaux sur os porcin. Le pré-trou de taille adaptée diminue le risque de fracture. Il est requis dans les zones de hautes densités osseuses comme la mandibule, le palais et la partie médiane du procès alvéolaire supérieure, même pour les vis autoforantes.

Revue systématique

Chen et al. (26) démontrent que, pour que les vis autotaraudantes utilisées avec un couple d'insertion optimal, le pré-trou doit être sous-dimensionné de 0,2 à 0,5 mm pour son diamètre et sa longueur par rapport à la vis. Le respect de ces dimensions est, selon eux, le facteur de stabilité primaire le plus important.

Reynders et al. (138) ne concluent pas mais insistent sur le manque de contrôle et de définition des études : certaines réalisant un pré-trou « simple », d'autres forant toute l'épaisseur de la corticale.

Méta-analyses

Les 3 méta-analyses ne concluent pas sur le sujet (35, 132, 133).

5.3. Chirurgie d'accès

Etudes de cohorte rétrospectives

2 publications ne trouvent pas de lien entre l'incision et le décollement d'un lambeau mucco-périosté et succès des mini-vis. (117, 118)

En revanche, Kuroda et al. (70) trouvent des taux de succès plus élevés sans lambeau. Cette méthode de placement des vis favorise aussi les suites en réduisant la durée et l'intensité de la douleur postopératoire ainsi que l'inconfort du patient concernant œdème, mastication et phonation.

Etudes de cohorte prospectives

Miyawaki et al. (115) n'observent pas de différence avec ou sans lambeau mais Viwattanatipa et al. (178) ainsi que Topouzelis et al. (168) démontrent des taux significativement plus élevés sans lambeau. Ces derniers expliquant ce résultat par la zone en muqueuse alvéolaire sensible à l'inflammation consécutive à la réalisation du lambeau.

Revue systématique

Crismani et al. (34) décrivent des protocoles de pose très variés et retrouvent généralement des taux de succès comparables avec ou sans lambeau. Ils préconisent donc de s'en passer dans l'intérêt du patient : le « flapless » étant moins invasif et ses suites opératoires moins inconfortables. Reynders et al. (138) échouent à identifier la présence ou l'absence de lambeau dans la procédure de pose comme facteur.

Méta-analyses

Les méta-analyses ne concluent pas sur le sujet. (35, 131, 132)

5.4. Pose manuelle / contre-angle

La majorité des publications semblent adopter une pose au contre-angle. Les méta-analyses ne font pas la distinction entre les types de pose. Aucune étude comparant la pose manuelle à la pose au contre-angle n'a été retrouvée.

5.5. Couple d'insertion

La stabilité des mini-vis étant acquise par rétention mécanique, le couple d'insertion a logiquement été évalué par différentes équipes d'auteurs. Leurs résultats sont univoques.

Avis d'auteurs

Pour Baumgaertel (148), il existe une plage idéale du couple d'insertion à respecter pour optimiser la réussite de l'emploi des mini-vis.

Expérimentations in vitro, ex vivo ou animales

Massif et al. (100) ont démontré in vitro qu'avec des vis autoforantes ou autotaraudantes, le couple de vissage diminue sensiblement en fin de vissage dès que le col arrive en butée. Ils conseillent donc de ne faire qu'un tiers de tour une fois la vis en butée pour éviter l'altération de l'os et assurer une bonne stabilité. Ils préconisent aussi l'usage d'un tournevis débrayable avec un couple considéré comme optimal.

Migliorati et al. (109) démontrent une corrélation entre couple d'insertion et force maximale de traction, donc avec la stabilité. Cehreli et al. (16) retrouvent aussi un lien significatif et positif entre couple d'insertion et stabilité. Il semble bien exister un intervalle de couple d'insertion optimal. Au-delà, un couple trop important peut-être un facteur de fracture selon Wilmes et al. (186, 188) qui lient couple et épaisseur corticale. McMannus et al. (103) ont étudié spécifiquement les effets du couple d'insertion sur des mandibules et des maxillaires humains ex vivo. Ils montrent que la résistance à la dérive de vis mises en charge est en relation avec le couple maximal d'insertion. Plus les valeurs de couples augmentent, plus la résistance est forte.

Whang et al. (184) ne corrélaient pas le couple d'insertion ni au diamètre, ni à la vitesse d'insertion.

Etudes de cohorte prospectives

Suzuki et al. (164) quantifient l'étendue idéale du couple d'insertion : entre 5 et 10 N.cm les vis l'étude (1,6 x 5 - 6 ou 7 mm) étaient toutes stables. Cependant ce couple doit être dépendant du type de vis et de la méthode de placement. Pour Motoyoshi et al. (121), cet intervalle est compris entre 8 et 10 N.cm. Ils recommandent donc de ne pas dépasser 10 N.cm pour améliorer les conditions de succès qui, cependant, découlent d'abord des conditions anatomiques car épaisseur corticale et âge sont liés au couple. La clinique reste donc le meilleur guide. Chaddad et al. (18) évaluent la survie de 32 vis posées avec 2 types de couples : supérieur, pour 19 vis, ou inférieur, pour 13 vis, à 15 N.cm. Les taux de survie sont significativement supérieurs avec un couple d'au moins 15 N.cm.

Revue systématique

En 2009, Reynders et al. (138) échouent à montrer le couple de pose comme ayant des répercussions significatives car les publications utilisées manquent de contrôle sur ce paramètre. Ils consacrent ensuite une 2^{ème} revue systématique (139) dédiée au couple d'insertion en comparant les taux de succès pour des vis posées avec des couples maximaux de 5 à 10 cN par rapport à des vis posées avec des couples supérieurs. Ils cherchent dans la littérature les travaux publiés jusqu'à 2012. Les effectifs doivent être d'au moins 10 vis par études, le diamètre de 2,5 mm maximum et la charge d'au moins 4 mois. 7 études non randomisées sont incluses. Toutes les associations entre les valeurs de couple d'insertion maximal et succès sont basées sur une littérature évaluée comme de faible qualité. Les définitions du succès sont souvent subjectives, la qualité des capteurs mesurant le couple est pauvre et les risques de biais hauts. Il n'y a donc pas de preuve, selon Reynders et al., pour recommander des niveaux spécifiques de couple d'insertion.

Méta-analyses

Sujet non abordé par les méta-analyses.

5.6. Axe d'insertion

Expérimentations in vitro, ex vivo ou animales

Lee et al. (79) examinent par la méthode des éléments finis l'influence de l'axe d'insertion et de la direction de forces orthopédiques sur la stabilité. Ils testent 90, 60 et 30° d'angulation par rapport à la surface osseuse. Les vis placées à 30 et 60° engendrent plus de stress et résistent moins bien au test de traction. L'insertion orthogonale est donc recommandée pour favoriser la stabilité mécanique et biologique lors de l'application de forces lourdes.

A leur tour, Woodall et al. (189) testent les mêmes angulations avec la même méthode des éléments finis et aussi sur des maxillaires et mandibules de cadavres pour lesquels le choix des axes est randomisé. Une force parallèle au plan d'occlusion est appliquée jusqu'au déplacement de 0,6 mm de la tête de la vis. Ils trouvent eux aussi par les éléments finis un meilleur ancrage à 90° d'insertion, en revanche sur les 96 vis ex vivo, ils n'observent pas plus de résistance à 90°. Lin et al. (88) évaluent par la méthode des éléments finis les contraintes osseuses péri-implantaires à la mandibule selon un axe d'insertion de 60, 90 ou 120°. Ils observent un effet significatif léger sur l'os cortical et plus marqué sur l'os trabéculaire. Laursen et Melsen (74) évaluent au CBCT le contact os cortical-vis et l'épaisseur corticale selon une angulation de 45 ou 90° par rapport au grand axe dentaire sur 27 échantillons humains. Les variations interindividuelles sont importantes, mais la différence d'axe joue sur la stabilité : en passant de 90 à 45°, le contact os cortical-vis augmente de 47%, améliorant ainsi la stabilité mais augmentant le risque de perforation sinusienne.

Etudes de cohorte rétrospectives

Jung et al. (61) testent les angles vertical et horizontal d'insertion par rapport au taux de succès qui n'en est pas affecté. Bien qu'ils soient tous deux corrélés à l'épaisseur corticale.

Etudes de cohorte prospectives

Deguchi et al. (39) en 2006 ont mesuré au CBCT l'épaisseur corticale selon une angulation de 30, 45 ou 90° par rapport au grand axe dentaire avec des données acquises sur 10 patients. Ils ont montré qu'un axe de 30° procure une épaisseur corticale 1,5 fois plus importante qu'un axe de 90°. Ainsi, ils recommandent cette angulation de 30° à la pose pour optimiser le pronostic.

El-Beialy et al. (41) étudient 40 vis sur 12 patients et examinent les superpositions tridimensionnelles avant et après rétraction canine maxillaire et mandibulaire. Ils ne parviennent pas à corréliser déplacement des mini-vis et leur angle d'insertion mesuré par céphalométrie tridimensionnelle.

Park et al. posent des vis maxillaires de 30 à 40° du grand axe des dents, à la mandibule de 10 à 20° et en rétromolaire ainsi qu'en disto-vestibulaire de 37 et 47 ils les placent à 90° de la surface osseuse. Eux non plus n'observent pas d'impact de l'angulation. Enfin Watanabe et al. (181) évaluent les angulations des vis de leur étude à 42-43° au maxillaire et 45-47° à la mandibule. Ils ne trouvent pas de différences d'angulation entre le groupe succès et le groupe échec et arrivent aux mêmes conclusions.

Revue systématique

Reynders 2009 et al. (138) ne peuvent conclure quant à l'axe d'insertion. Rien n'est retrouvé sur le sujet concernant les publications de niveau de preuve supérieur.

5.7. Tissu kératinisé / muqueux

Avis d'auteurs

Selon Kravitz et Kusnoto (69) la muqueuse alvéolaire non kératinisée est une zone facilement irritable et l'inflammation des tissus mous autour de la mini-vis est directement associée à une mobilité accrue. Pour Ellouze et Darqué (43), un site implantaire muqueux représente un risque accru par sa mobilité et sa faible densité en fibre de collagène favorisant la création d'un hiatus cervical. L'inflammation des tissus mous et l'absence d'intégration gingivale peuvent compromettre le succès de la mini-vis, voire se propager aux tissus durs.

Expérimentations in vitro, ex vivo ou animales

Ure et al. (176), sur leurs travaux sur le chien, ont montré que le placement en tissu non kératinisé affecte négativement la stabilité et augmente la probabilité d'échec.

Etudes de cohorte rétrospectives

Sharma et al. (154), ainsi qu'Antosweska et al. (1) montrent indépendamment, qu'au maxillaire, les vis placées en gencive attachée ont des taux de succès supérieur. En revanche, Chen et al. (25) ne retrouvent pas de différences entre les vis en tissu kératinisé ou en muqueuse. Pour Lim et al. (86, 87), les phénomènes infectieux sont plus fréquents en muqueuse et sont une source d'échec, mais le problème survient rarement dans les 1ères phases et donc le niveau vertical du placement d'une vis ne peut pas avoir d'influence sur la stabilité initiale. Pour Manni et al. (97), le pronostic selon le site est le même pour la gencive attachée et la ligne mucco-gingivale. La gencive libre a un taux de réussite nettement inférieur et l'absence de tissus kératinisés est supposée faciliter l'accumulation de plaque dentaire.

Etudes de cohorte prospectives

Park et al. (134) n'observent pas d'effet du type de tissus mous sur le taux de succès. Chaddad et al. (18) ne lui imputent pas d'effet non plus sur le taux de survie. De même, Janson et al. (57) observent dans les groupes succès et échec une proportion identique

de vis insérées en gencive attachée, sur la ligne mucco-gingivale ou en muqueuse. Ils notent également que les vis en zone muqueuse présente une mobilité moindre proche de la ligne mucco-gingivale. Ils impliquent la proximité de freins dont la présence constitue un risque d'inflammation et d'hyperplasie. A l'inverse, d'autres publications montrent des résultats contraires. Pour Cheng et al. (27), un site en muqueuse alvéolaire est un indicateur de pronostic négatif. Le risque d'infection et d'échec est accru. Le fait que la région postérieure de la mandibule corresponde à des taux d'échec plus élevés semble conforter cette hypothèse dans la mesure où la quantité de gencive attachée y est faible. De même, Topouzelis et al. (168) retrouvent des taux de succès 24 fois supérieurs en gencive attachée et expliquent cela par une probabilité plus faible d'hyperplasie et d'inflammation. La gencive attachée semble être, à ses yeux, un facteur primordial pour la stabilité à long terme. Enfin, Viwattanitipa et al. (178) observent des taux de survie nettement inférieurs pour les vis placées dans des niveaux élevés de tissus non kératinisés. L'équipe remarque également un effet de l'épaisseur de la muqueuse : plus elle est importante, plus la réaction hypertrophique inflammatoire est sévère. Les vis placées dans des tissus non kératinisés d'épaisseur plus faible ont des causes d'échec différentes : généralement la perte d'ancrage de la vis.

Revue systématique

Reynders et al. (138) évoquent le sujet sans pouvoir conclure.

Méta-analyses

Abordé par les méta-analyses, celles-ci ne concluent pas (35, 132, 133).

5.8. Vis enfouie

L'exposition de la tête de la vis pourrait constituer un risque d'inflammation et d'infection surtout en zone muqueuse et donc compromettre la stabilité. Mais peu de publications rapportent des informations car le sujet est plutôt traité par la présence ou l'absence de lambeau, considérant que lever un lambeau signifie recouvrir la tête de la vis. Bien qu'il soit possible d'enfouir une vis sans lambeau. Autre façon de procéder décrite par Park et al. (134), dans une étude de cohorte prospective, qui teste l'enfouissement ou non malgré un lambeau systématique. Ils ne trouvent pas de différences significatives sur le succès.

Reynders et al. (138) dans leur revue systématique ne peuvent pas conclure non plus faute de contrôle du paramètre dans les publications utilisées.

Abordé par les méta-analyses, celles-ci ne peuvent conclure pas.

5.9. Proximité radiculaire

Avis d'auteurs

Pour Melsen (106), la proximité radiculaire peut représenter un environnement local générateur d'inflammation responsable d'échecs à long terme.

Rapports de cas

Maino et al. (96) font état de 2 cas de lésions radiculaires par la vis ou le foret ou les 2. La proximité radiculaire est un facteur de risque et les recommandations des auteurs préconisent 1 mm entre vis et racine, soit 3,5 mm d'EIR pour une vis de 1,5 mm de diamètre. Il est à noter qu'un ciment de réparation commence à apparaître après cessation du contact entre le corps étranger et la surface radiculaire.

Expérimentations in vitro, ex vivo ou animales

Asscherix et al. (2) suggèrent que c'est le contact même de la vis avec la racine qui serait un facteur de risque. Mais ils ne peuvent poser d'affirmation étant donné le trop faible effectif de vis de leur étude canine. A noter qu'ils observent eux aussi une réparation après contact sous forme de ligne néocémentaire et qu'une position verticale trop cervicale leur paraît nuisible. Motoyoshi et al. (124) se sont intéressés au sujet par la méthode des éléments finis. Ils ont construit 4 modèles virtuels :

1. la vis ne touche ni desmodonte, ni racine
2. la vis touche la surface du desmodonte
3. une partie du filetage est enchâssée dans le desmodonte
4. contact vis / racine

La valeur de contrainte osseuse augmente quand la vis se rapproche de la racine. Le maximum est atteint en cas de contact dans des valeurs telles que la résorption osseuse est à craindre.

Lee et al. (78) constituent 4 catégories de vis sur 4 chiens :

1. proche de la racine
2. contact desmodontal
3. contact radiculaire
4. perforation radiculaire

Ils analysent ensuite histologiquement : résorptions radiculaires cémentaire ou dentinaire, réparation ou croissance cémentaires, ankylose, craquelure ou fracture radiculaires. Ils montrent que l'incidence des résorptions radiculaires augmente pour les vis situées à moins de 0,6 mm des racines, et observent craquelure et fracture pour les vis en contact ou perforant les racines. Ils notent parfois une croissance cémentaire et une légère résorption dans le groupe « contact desmodontal ». L'ankylose et la résorption radiculaire peuvent survenir dans le groupe « perforation », du côté opposé à l'insertion. La proximité radiculaire constitue un risque de résorption et d'ankylose, surtout avec les mini-vis de gros diamètre et avec la procédure de préforage. Cependant, le fait de diminuer le diamètre peut affecter la stabilité.

Etudes de cohorte rétrospectives

Jung et al. (61) démontrent que si la distance vis-surface radiculaire augmente, alors le taux de succès croît significativement reconnaissant la proximité radiculaire comme facteur de risque. Manni et al. (97) observent un taux de succès légèrement supérieur quand le corps de la vis passe au niveau du tiers radiculaire cervical par rapport aux tiers médian et apical. Mais les différences ne sont pas significatives. Une distance de sécurité minimale d'1 mm entre racine et vis est à nouveau recommandée.

Etudes de cohorte prospectives

Toutes les publications présentent des résultats similaires.

Kuroda et al. (72), d'après des radiographies rétroalvéolaires et des tomographies numériques, répartit 216 vis de 110 patients en 3 groupes (fig. 33) :

1. vis sans contact radulaire
2. contact apex vis / lamina dura
3. corps de la vis plaqué contre la lamina dura

Ils montrent des différences significatives entre les groupes pris 2 à 2 ainsi qu'une corrélation négative de la proximité radulaire avec le succès d'autant plus marquée à la mandibule. La proximité radulaire est pour eux un facteur de risque majeur.

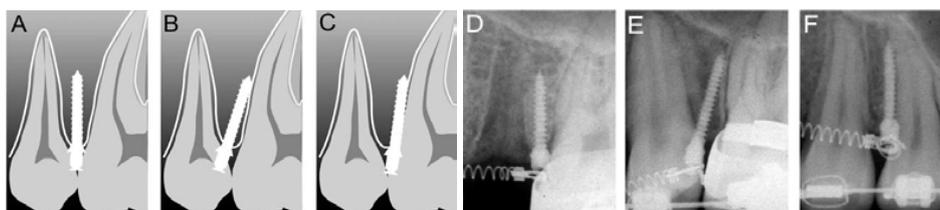


Figure 34: classification de la proximité radulaire selon Kuroda et al. (32)

Min et al. (112) apportent des résultats identiques avec une étude sur 94 patients et 172 vis où le taux de succès augmente avec la distance vis / surface radulaire avec une corrélation hautement significative entre les 2 paramètres. Son et al. (158) montrent que des vis autoforantes avec contact radulaire sont plus mobiles que sans et que les vis autotaraudantes. Suzuki et al. (164) rapportent que sur 106 vis, ils ont trouvé que si la distance vis / racine est inférieure à 1,4 mm, alors le taux d'échec augmente significativement. Wattanabe et al. (181) montrent une distance vis / racine nettement inférieure, surtout à la mandibule, dans le groupe échec par comparaison au groupe succès. Enfin, Janson et al. (57) évaluent la stabilité en fonction de la proximité radulaire pendant la rétraction antérieure. L'échantillon est réparti en 2 groupes : septum inférieur ou égal à 3 mm de large, ou bien supérieur à 3 mm. Ils ne retrouvent pas de différences entre les 2 groupes : la largeur n'influence pas la mobilité ni le taux de succès. Cependant, une proximité radulaire extrême de la vis, avec pression desmodontale, affecte mobilité et taux de succès. Kim et al. (66) évaluent sur 50 vis chez 25 patients la proximité radulaire ou sinusienne au CBCT et stabilité. Ils relèvent 15 proximités radiculaires dont un échec et un échec aussi dans les 35 autres vis sans proximité radulaire. Selon eux, la proximité radulaire seule n'est pas un facteur de risque. En revanche, plusieurs proximités radiculaires pour une même vis, combinées à une perforation sinusienne et une instabilité primaire, seraient un facteur de risque majeur. Le paramètre déterminant serait la quantité de surface de contact radulaire.

Revue systématique

Reynders et al. (138) ne peuvent conclure sur le sujet.

Méta-analyses

Pas d'éclairage sur le sujet à la lumière des méta-analyses.

5.10. Ancrage mono- / bicortical

Expérimentations in vitro, ex vivo ou animales

3 études comparent les ancrages mono- et bicortical. Elles semblent indiquer les mêmes résultats.

Brettin et al. (14) testent sur des maxillaires et des mandibules ex vivo, stabilité et résistance à la perte d'ancrage avec des vis ancrées pour moitié en monocortical et pour l'autre moitié en bicortical. L'ancrage est plus performant en bicortical et les valeurs sont supérieures à la mandibule. De plus la méthode des éléments finis indique aussi des niveaux de contraintes osseuses inférieurs en bicortical. Ils recommandent de considérer l'ancrage bicortical lorsque la charge est importante ou si la corticale est fine.

Holberg et al. (52) comparent les contraintes osseuses des 2 types d'ancrage également par l'analyse des éléments finis. Ils démontrent que l'ancrage bicortical est plus favorable que l'ancrage monocortical avec des vis longues, lui-même plus favorable que l'ancrage monocortical de vis courtes.

Morarend et al. (119) ne trouvent pas de différence entre un ancrage bicortical de vis de petit diamètre avec un ancrage monocortical de gros diamètre. L'étude est randomisée mais sort du cadre des mini-vis par les diamètres utilisés : 1,5 et 2,5 mm.

Une 4^{ème} teste la validité de l'ancrage bicortical : Wu et al. (191) mésialent des dents postérieures dans un espace d'extraction. A 12 semaines, mis en charge ou non, l'ancrage est stable. La mésialisation de 4^{ème} prémolaires canines est possible.

6. Facteurs orthodontiques

6.1. Mise en charge

Avis d'auteurs

Darqué et Ellouze (43) avancent qu'une mise en charge immédiate légère permet d'imprimer une tension unidirectionnelle limitant les micromouvements produits par les tractions des muqueuses et l'environnement musculaire.

Expérimentations in vitro, ex vivo et animales

Nakagaki et al. (129) étudient les effets de la mise en charge immédiate de mini-vis en titane sur des mandibules canines en observant le contact os-implant et les densités minérales médullaire et corticale. Celles-ci étant significativement supérieures du côté pression par rapport au côté tension, ils concluent que la mise en charge immédiate n'inhibe pas l'ostéointégration et stimule la minéralisation osseuse.

Serra et al. (152) travaillent sur 18 spécimens de lapins et 72 mini-vis en titane. La moitié est mise en charge immédiatement à 1 N.cm. Le couple de désinsertion mesuré à 1 et 4 semaines ne montre pas de différence avec le groupe non chargé. Mais à 12 semaines, les valeurs de couple diminuent sans compromettre pour autant la stabilité des mini-vis. La mise en charge immédiate peut être utilisée de façon fiable. Singh et al. (156) la valident aussi par la méthode des éléments finis en examinant la répartition des

contraintes et le type de déplacement de vis en titane sous des charges horizontales et de torsion. Woods et al. (190) ne lui trouvent pas de différence significative avec une mise en charge différée mais lui donnent un effet bénéfique car les vis mobiles de leur étude étaient non chargées. Luzi et al. (95) observent la réaction tissulaire à la pose de 50 vis chez le singe, 42 chargées immédiatement à 50 N.cm et 8 non chargées. Histologiquement, ils évaluent le volume osseux, le contact os-vis, la surface minéralisée et la surface d'érosion. Les variations interindividuelles sont importantes mais la mise en charge immédiate n'affecte pas négativement la cicatrisation osseuse.

Wei et al. (183) ne confirment pas. Les résultats de leur expérimentation animale montrent que les différences de valeurs du test de traction entre corticales épaisses et fines deviennent insignifiantes avec le temps. Selon eux, une phase de cicatrisation peut être nécessaire sur corticales fines.

Melsen et Lang (107) explorent les effets de la mise en charge sur la réaction tissulaire péri-implantaire. Les auteurs analysent le degré d'ostéointégration ainsi que la densité osseuse par histomorphométrie et les contraintes osseuses par la méthode des éléments finis. La mise en charge influence significativement et positivement le turn-over cellulaire et la densité osseuse à proximité des mini-vis en titane par rapport à l'os à distance sur les mandibules simiennes. Le degré d'ostéointégration reste, lui, indépendant de la charge.

Etudes de cohorte rétrospectives

Chen et al. (24) ne mesurent pas de différences que la mise en charge soit immédiate ou différée et rejoignent sur ce point Kuroda et al. (70) (immédiate vs moins d'un mois vs plus d'un mois) et Sharma et al. (154) (immédiate vs 1 semaine). Mais Chen et al. (25) donnent ensuite des résultats contradictoires préconisant d'attendre 3 semaines avant mise en charge pour permettre une cicatrisation osseuse primaire péri-implantaire. A l'inverse, Manni et al. (97) rapportent des taux de succès significativement plus élevés lorsque la mise en charge est immédiate, celle-ci semblant avoir un effet bénéfique.

Etudes de cohorte prospectives

Garfinkle et al. (46) testent mise en charge immédiate, mise en charge entre 3 à 5 semaines et pas de mise en charge. Ils posent 2 vis par quadrant, une seule mise en charge, sur 13 patients. Ils observent les vis jusqu'à fermeture de l'espace d'extraction de 1ères prémolaires. Ils montrent une absence de différences entre les délais de mise en charge et un effet protecteur de la charge. Cependant, le faible nombre de patients de l'étude minimise les résultats. Intachai et al. (56) mesurent la concentration d'un marqueur biochimique de résorption osseuse utilisé comme marqueur de remodelage après mise en charge orthodontique : la chondroïtine sulfate. Les prélèvements de fluide crévulaire péri-implantaire sont réalisés à différents moments après la pose et après la mise en charge. Aucune différence significative n'est décelée entre le groupe mis en charge et le groupe non chargé. Kim et al. (64) évaluent la mise en charge précoce ou non selon le couple de dépose et ne trouvent pas de différence non plus. Motoyoshi et al. (125) échouent à trouver un lien entre couples d'insertion et de dépose et délai de mise en charge. Watanabe et al. (181) ne montrent pas non plus de différence de délai entre groupe succès et groupe échec d'une étude plurifactorielle. Luzi et Melsen (95), sur 140 vis mises en charge immédiatement chez 98 patients, retrouvent un taux d'échec global

identique à d'autres investigations portant sur des vis différant la mise en charge pour respecter une période de cicatrisation. Ils établissent ainsi que la mise en charge immédiate n'est pas un facteur de risque.

Miyawaki et al. (115) apportent des résultats plus nuancés : la mise en charge immédiate peut être envisagée si la charge est inférieure à 2 N pour ne pas nuire à l'établissement d'interdigitations mécaniques entre vis et os alvéolaire.

Revue systématique

Crismani et al. (34) décrivent comme possible la mise en charge immédiate ou précoce car des périodes de guérison plus longues n'ont pas garanti plus de stabilité selon les expérimentations animales.

De même, Chen et al. (26) évoquent la période de cicatrisation comme non nécessaire, la mise en charge immédiate est donc possible et présente l'avantage de gagner du temps.

De la même manière, Cornelis et al. (31) ne reconnaissent pas les longues périodes d'adaptation comme des facteurs influents sur le succès ou les échecs. Mise en charge immédiate ou non, ils ne constatent pas de différence significative pour la surface de contact os-vis, même en tenant compte des côtés pression-tension de la vis. De plus, la mise en charge immédiate est compatible avec des forces légères.

Reynders et al. (138) ne concluent pas par défaut de contrôle des études sur le sujet. Exemple : une mise en charge « immédiate » pouvant se faire, selon l'étude, jusqu'à 4 semaines après la pose.

Méta-analyses

Aucune méta-analyse ne conclue sur le sujet (35, 132, 133).

6.2. Type de mouvement orthodontique

Etudes de cohorte rétrospectives

Antoszewska et al. (1) testent différents facteurs de succès sur 350 vis. Concernant le mouvement réalisé, c'est avec la distalisation en masse que le taux de succès le plus haut est atteint avec des différences significatives par rapport aux autres directions.

Mais Chen et al. (25) observent sur 492 vis que, pour les vis autoforantes, entre la rétraction, la mésialisation, l'ingression et la distalisation, cette dernière a un taux d'échec 5 fois plus élevé. Mais dans une autre étude (24), ils notent que le taux de succès était plus bas pour les mini-vis utilisées en rétraction ou mésialisation en comparaison de l'ingression.

Kuroda et al. (70) ont étudié l'effet de forces orthodontiques appliquées à des mini-vis sur les taux de succès. Ils concluent que les mini-vis utilisées (1,3 x 6, 7, 8, 10 ou 12 mm) ont montré des taux de succès plus bas pour l'ingression que la rétraction ou la mésialisation. La différence pour la rétraction était statistiquement significative.

Sharma et al. (154) comparent au maxillaire et à la mandibule : rétraction en masse des blocs incisivo-canins, distalisation et mésialisation molaires, ingression incisive et molaire, distalisation en masse d'arcade complète. Ils n'observent pas de différence de taux de succès selon l'indication. Luzi et Melsen (95) arrivent à la même conclusion.

Etudes de cohorte prospectives

Topouzelis et al. (168) ont montré un effet significatif sur la nature du mouvement avec un taux de succès diminué de 88% pour le redressement par rapport par rapport à la rétraction dans les conditions de son étude. Les facteurs inhérents à la force orthodontique doivent dépendre à la fois du type de mouvement, mais aussi de l'intensité, de l'angle, du type de force et du type de mécanique, expliquant peut être la variété des résultats.

Cheng et al. (27) ne montrent pas d'effet du type de mouvement réalisé sur la survenue d'échec.

Revue systématique

Pour Janssen et al. (58), les mouvements mésio-distaux et ingressifs peuvent être entrepris de façon fiable par les ancrages osseux, mini-vis comprises.

Méta-analyses

Aucune méta-analyse ne conclue sur le sujet (35, 132, 133)

6.3. Forces orthodontiques

Les caractéristiques des forces orthodontiques décrites dans la littérature sont :

- direction
- intensité
- type : continues / discontinues
- sens de rotation d'un éventuel moment résultant

Avis d'auteurs

Selon Melsen (106), une charge trop élevée peut conduire à la résorption osseuse autour de la vis. Une intensité faible est conseillée pour commencer grâce par un ressort NiTi ou autre type de module délivrant 50 N.cm. La charge pourra ensuite être augmentée progressivement car elle augmente la densité osseuse avoisinant la vis. Mais l'auteur ne détaille pas le déroulement précis de cette augmentation.

Expérimentations in vitro, ex vivo ou animales

Liu et al. (92) élaborent un protocole où des vis sont mises en charge sur des lapins avec 2 modalités : soit application continue pendant 29 jours d'une force d'expansion, soit cycles de 5 jours de charge suivi d'1 jour de repos. Les forces continues donnent de bien meilleurs résultats : les forces intermittentes représentent 86% des 29 jours et seulement 61% de l'expansion obtenue par forces continues. Cependant l'action se situant au niveau d'une suture, l'expérimentation étant animale et les vis exobuccales, les résultats bien que significatifs sont à considérer prudemment.

Park et al. (135) comparent sur le lapin les effets de rotation horaire ou antihoraire sur la stabilité de mini-vis équipées de supra-structure type bras de levier par le biais de mesure du couple de dépose et d'un examen histologique (contact os-vis).



Figure 35: charge horaire selon Park et al. (135)

Ils ne détectent pas de différences significatives entre les groupes contrôle, rotation horaire et rotation antihoraire mais cette dernière présente les valeurs les plus basses (tendance). La rotation antihoraire pourrait peut-être diminuer la stabilité primaire tandis que la rotation horaire est sans effet.

Cho et al. (29) évaluent, chez le chien, les effets de ces rotations sur la stabilité des vis grâce à une évaluation histomorphométrique quantifiant le contact os-vis et le rapport volume osseux / volume total. L'intensité des forces est soit de 1, soit de 2 N.cm. Les vis chargées à 2 N.cm avec un moment de rotation antihoraire ont toutes un taux d'échec de 100% à 3 semaines. A 12 semaines, les mesures des 2 paramètres sont significativement supérieures dans le groupe horaire. Un moment de rotation antihoraire pourrait constituer un facteur de risque sur la stabilité des mini-vis.

Lin et al. (88) testent différentes directions sur des segments de mandibule simulés par la méthode des éléments finis. Situées dans un plan vertical et orthogonales aux mini-vis, elles sont de 30, 45 ou 60° par rapport à la verticale. Leur intensité est identique (environ 2 N). Les auteurs ne retrouvent pas d'effet significatif sur le stress osseux cortical.

Mischkowski et al. (113) effectuent un test de traction à 0, 20 et 40° d'angulation sur des vis insérées orthogonalement. Ils font le lien entre force maximale de traction et direction de la force appliquée. Lorsque la traction est axiale, la résistance est maximale et significativement différente des tractions à 20 et 40°.

Lee et al. (79) simulent, par la méthode des éléments finis, l'application d'une force orthopédique lourde (800 gr) selon des directions variées sur des vis dont l'angle d'insertion varie également. Les valeurs du test de traction sont maximales quand elle est axiale. Plus la direction de la force appliquée est oblique, plus les contraintes osseuses et le déplacement de la mini-vis augmentent.

Liu et al. (91) évaluent, toujours par la méthode des éléments finis, contraintes osseuses et déplacement des mini-vis sur lesquelles différentes tractions sont essayées. Leur directions sont de 60, 90 ou 120° par rapport à l'axe de la vis et comprises dans le même plan que la vis. Les deux paramètres diminuent avec les directions obliques. A 90° les contraintes sont les plus élevées et délétères car l'effet est celui d'une force de flexion pure. A 60 et 120°, la composante axiale est plus favorable et diminuerait les contraintes de 15%. L'intensité fait croître ces contraintes de manière directement proportionnelles.

Woods et al. (190) examinent les effets de mise en charge d'intensités différentes (25 gr vs 50 gr) sur des maxillaires et mandibules de chiens selon le contact os-vis observé par analyses histologiques. Aucune différence n'est retrouvée.

Etudes de cohorte rétrospectives

Sharma et al. (154) classent la direction de la force appliquée en 3 catégories : horizontale, verticale, mixte sur 139 vis utilisées pour des indications variées sur 73 patients consécutifs et ne retrouvent pas de différences particulières sur le taux de succès. Cependant, Antoszewska et al. (1) montrent que des forces verticales appliquées aux vis semblent responsables de plus d'échecs que des forces horizontales.

De leur côté, Kuroda et al. (70) échouent à corréliser intensité de la force (50, 100, 150 ou 200 gr) et taux de succès dans une étude portant sur 116 vis et 75 patients.

Etudes de cohorte prospectives

Pongsamart et al. (136) rétractent 24 canines maxillaires sur vis avec une force soit de 50, soit de 150 gr. Le CBCT permet d'évaluer le déplacement de la tête et de la pointe de la vis. Ils observent un déplacement significatif pour les 2 intensités avec une différence entre elles à partir de 3 mois. Ils recommandent un suivi attentif pour des charges supérieures ou égales à 150 gr surtout après les 3ers mois de mise en charge.

Revue systématique

Crismani et al. (34) recommandent jusqu'à 200 cN (soit 200 gr) pour qu'une charge soit adéquate selon les études animales.

Janssen et al. (58) considèrent que des forces orthodontiques variant de 100 à 400 gr peuvent être appliquées avec succès et ne présentent pas de différence significative de taux de réussite. Pas de détails, en revanche, pour des forces inférieures ou supérieures.

6.4. Type de mécanique

Avis d'auteurs

Selon Baumgaertel (148), il n'y a pas de preuve que le choix de la mécanique, directe ou indirecte, influe sur la réussite des traitements par vis.

Etudes de cohorte rétrospectives

Chen et al. (24) ne trouvent pas de différences significatives entre des traitements sur sectionnels ou sur des arcades complètes.

Concernant le type de mécanique, directe ou indirecte, ni Sharma et al. (154), ni Antoszewska et al. (1) ne retrouvent de différences notables.

Etudes de cohorte prospectives

Cheng et al. (27) montrent une absence d'influence du type d'ancrage, direct ou indirect.

Revue systématique

Chen et al. (26) décrivent une légère tendance à la perte d'ancrage avec les mécaniques indirectes.

Méta-analyses

Dans leur méta-analyse, Papadopoulos et al. (132) observent une tendance entre connexion directe avec la vis et taux de succès plus élevé.

6.5. Module

Etudes de cohorte rétrospectives

Chen et al. (25) ne montrent pas de différences entre ressort NiTi, chaînettes élastomériques et élastiques classiques. Sharma et al. (154) comparent ressorts NiTi et acier, chaînette élastomérique et boucles sur arc et ne trouvent pas de différence non plus.

Etudes de cohorte prospectives

De même pour Park et al. (134), qui, en comparant ressorts acier et NiTi, chaînette élastomérique et ligature métallique, n'observent pas d'effet selon le module.

6.6. Durée de la mécanique sur vis

Etudes de cohorte rétrospectives

Moon et al. (117) montrent que les échecs surviennent le plus fréquemment pendant les 2ers mois suivant la mise en charge et que 90% surviennent dans les 4ers mois. Si une vis résiste à 4 mois de charge, alors on peut la considérer comme stable et garante de réussite. Dans une autre publication, Moon et al. (118) montrent que 80% des échecs surviennent les 4ers mois et que la moyenne de survenue des échecs est de 1,65 mois. Passé ce délai, les vis ont de grandes chances de succès.

Etudes de cohorte prospectives

Ponsamart et al. (136) observent à partir de 3 mois des différences significatives entre 2 intensités de charge différentes et recommandent la prudence, surtout une fois ce délai passé, pour les charges de plus de 150 gr.

Wiechmann et al. (185) ont montré que la majeure partie des échecs des mini-vis surviennent dans entre 100 et 150 j. après la mise en charge.

Dans leur publication, Janson et al. (57) rapportent une survenue moyenne des échecs à 1,75 mois après mise en charge. Cheng et al. (27) trouvent une moyenne d'1 mois.

Méta-analyses

Une méta-analyse (132) retrouve une perte d'ancrage des vis en titane pour les traitements de moins de 12 mois. Le phénomène n'est cependant pas significatif et mis sur le compte d'une ostéo-intégration incomplète. Papageorgiou et al. (133) ne retrouvent pas de corrélation.

6.7. Gestion des tissus mous / HBD

Avis d'auteurs

Pour Massif et al. (100, 101) une grande partie des échecs de survie des mini-vis trans-gingivales dans le temps provient d'une cause inflammatoire amenant une mobilité de la vis.

Selon Kravitz et Kusnoto (69), l'inflammation autour des mini-vis est directement associée à une mobilité accrue.

Etudes de cohorte rétrospectives

Chen et al. (25) évaluent l'inflammation cliniquement, absente à légère / légère à modérée / modérée à sévère, et montrent qu'il s'agit de l'un des facteurs significatifs dans la prédiction de l'échec des thérapeutiques vissées avec un taux d'échec variant d'un facteur 5. L'inflammation conduirait à une destruction précoce des tissus osseux de voisinage essentiels à l'interdigitation du filetage de la vis. Une hygiène méticuleuse doit donc être maintenue pour prévenir cette inflammation même si cette dernière n'est pas directement associée à l'hygiène dans l'étude. D'ailleurs Manni et al. (97) ne trouvent pas d'effet de consignes verbales d'hygiène sur le pronostic des vis. Mais Sharma et al. (154) apportent des conclusions différentes. L'inflammation est comptée présente (rougeur / saignement autour de la tête de la vis) ou absente, et l'hygiène orale jugée pauvre, acceptable ou bonne. Une inflammation présente et une hygiène pauvre sont toutes deux associées à l'échec. L'inflammation est génératrice de lésions osseuses progressives mettant en péril l'implant. Pour Moon et al. (118), l'hygiène doit jouer un rôle dans le taux de succès des mini-vis. De même, selon Kuroda et al. (70), une hygiène parfois non contrôlée dans les secteurs maxillaires postérieurs difficile d'accès au brossage, ainsi que leur propension à l'inflammation péri-implantaire par rapport aux secteurs antérieurs, constitueraient un facteur de risque.

Etudes de cohorte prospectives

Pour Cheng et al. (27), en revanche, comme pour Lee et al. (77), le status d'hygiène n'est pas corrélé avec la survenue d'échec ou d'infection. De même Janson et al. (57) qui mesurent la quantité de plaque accumulée. Ces auteurs impliquent la sensibilité (nulle / légère / supportable / insupportable) qui est fortement liée à la mobilité et qui est donc de mauvais pronostic.

Miyawaki et al. (115) démontrent dès 2003 le facteur de risque que représente l'inflammation en relevant des taux de succès significativement plus bas pour les mini-vis présentant un environnement inflammatoire.

Park et al. (134) évaluent hygiène et inflammation sur un effectif important (227 vis). Ils constatent également des taux inférieurs en présence d'inflammation. L'hygiène n'est pas directement incriminée mais doit jouer un rôle du fait, dans leur étude, de taux supérieurs à gauche, côté dont l'hygiène est plus facile pour les droitiers (166). Viwattanatipa et al. (178) associent également une réponse inflammatoire sévère à des taux de succès significativement bas (97 vis). Wu et al. (192) préconisent eux aussi des soins d'hygiène réguliers et attentifs afin de rehausser le succès à long terme par prévention de l'inflammation qu'ils démontrent impliquée en tant que facteur de risque.

Sebbar et al. (150) réalisent des biopsies péri-implantaires sur 28 vis d'indications et de sites différents et procède ensuite à leur étude histologique. Toutes les biopsies présentent des signes d'inflammation, aussi bien chez les patients avec ou sans antécédents de maladies parodontales, suggérant que la maladie parodontale et l'inflammation des tissus mous péri-implantaires ne sont pas corrélées. L'inflammation est présente quelque soit la durée d'utilisation des vis, est indépendante de la localisation vestibulaire ou palatine. L'épaisseur importante de la muqueuse et l'absence de tissus kératinisés, comme vu précédemment, constituent des facteurs de risque. Cependant les auteurs ne détaillent pas la période de prélèvement, et donc le délai de cicatrisation n'est pas connu.

Hamamci et al. (51) ont consacré une étude ciblée sur l'inflammation. Sur 16 patients, une distalisation canine est réalisée suite à l'extraction de 14 et 24. Les 32 vis sont posées en mésial des 6 maxillaires. Les niveaux d'interleukines (IL) 2, 6 et 8 sont mesurés sur 3 sites : vis, canine (groupe traité) et 15 ou 25 (groupe contrôle). Les prélèvements de fluide sulculaire et péri-implantaire sont réalisés à la mise en charge puis à 1h, 24h, 48h, 7j, 21j, 3 mois. Ces cytokines « alarmes » induisent vasodilatation et perméabilité accrue et favorisent ainsi la réponse inflammatoire. Pour le groupe traité, des niveaux plus élevés sont observés pour l'IL 2 à 24h et l'IL 8 à 24h, 48h et 7j. Des changements significatifs sont relevés pour l'IL6 à 3 mois. Les variations sont observées par rapport au taux initial mais il n'y a pas de différences observées entre les 3 groupes. Les auteurs concluent cependant sur l'importance de la prévention pour limiter l'augmentation de ces cytokines pro-inflammatoires, notamment en contrôlant la force initiale. Cependant les mesures entre la pose et la mise en charge à 2 semaines n'ont pas été faites.

Intachai et al. (56) explorent, selon un protocole semblable, les taux de chondroïtine sulfate, marqueur biochimique de résorption osseuse utilisé comme indicateur de remodelage osseux après mise en charge. Les mesures sont faites avant et après mise en charge par prélèvement de fluide dans le « sulcus » péri-implantaire. Mais les auteurs ne retrouvent pas de différences significatives entre le groupe mis en charge et le groupe non mis en charge.

Méta-analyses

Une méta-analyse (35) recommande une bonne hygiène buccale autour de la vis par prévention de l'inflammation des tissus mous qui est fortement associée à des taux d'échec importants.

Aucune étude n'associe cependant le tabac comme éventuel facteurs de confusion à la présence d'inflammation.

7. Synthèse

7.1. Taux de réussite

Les possibilités thérapeutiques qu'offrent les mini-vis justifient leur inclusion dans les plans de traitement orthodontique. La littérature concernant leur taux de succès, d'échec ou de survie est abondante. Par souci de concision, n'ont été retenus que les publications récentes (la plus ancienne datant de 2007) de haut niveau de preuve, de type revue systématique, méta-analyse ou revue systématique Cochrane. La quasi totalité des parutions rapporte des taux de plus de 80% légitimant leur utilisation. Il est donc acquis que les mini-vis ont fait la preuve de leur efficacité et ont leur place à part entière dans les dispositifs des systèmes d'ancrage squelettiques.

Mais derrière ce consensus, les résultats sont plus nuancés qu'ils n'y paraissent.

- La standardisation des définitions du succès et de l'échec fait défaut. Pour certains, une vis trop mobile pour assurer sa fonction d'ancrage mais déplacée ou remplacée constitue un succès. Pour d'autres, une vis mobile mais assurant l'ancrage est considérée comme un échec. L'absence de nomenclature établie témoigne de ce manque de normalisation. (138)
- La majorité des publications s'accorde à dénoncer des lacunes dans la méthodologie employée dans les études et leur manque de clarté.
- Toutes les publications constatent la nécessité de publications de recherche clinique supplémentaires de niveau de preuve élevé.

7.2. Facteurs d'influence

La compréhension des causes d'échec est compliquée par leur aspect éminemment plurifactoriel. Le champ du niveau de preuve des publications a du être élargi afin de pouvoir aborder l'ensemble des facteurs d'influence suspectés. Les principaux résultats des publications à haut niveau de preuve sont résumés ci-dessous.

La librairie Cochrane ne fournit qu'une revue qui ne donne aucun éclairage sur le sujet et ne retient qu'une seule publication remplissant les critères d'inclusion, et celle-ci concerne l'ancrage palatin.

Les méta-analyses passent au crible de nombreux facteurs différents et n'émettent que peu de conclusions et sous réserve du fait du faible nombre d'études, de leur hétérogénéité et de leur qualité. Les auteurs rapportent prudemment leurs résultats qui demandent à être confirmés.

Papadopoulos et al. (132), en 2011, passent en revue la perte d'ancrage des mini-vis. Le nombre de facteurs pris en compte n'est pas détaillé. Il en ressort que les vis sont plus efficaces :

- à la mandibule,
- quand elles sont situées en mésial des 6,
- quand elles sont au nombre de 2 vis par mâchoire,
- quand elles sont directement connectées,
- quand elles sont utilisées chez l'adulte,

- quand le traitement dure plus de 12 mois.

Papageorgiou et al. (133), en 2012, se penchent sur les taux d'échec. 42 facteurs sont analysés et classés selon :

- le patient,
- l'opérateur chirurgical,
- la vis,
- la procédure chirurgicale,
- la procédure orthodontique,
- les complications.

Aucune différence significative n'est retrouvée selon l'âge, le genre ou le côté d'insertion. En revanche, les mini-vis posées à la mandibule semblent présenter des taux d'échec plus importants qu'au maxillaire au contraire de la méta-analyse précédente. La corrélation entre épaisseur corticale et échec semble claire.

Marquezan et al. (99), en 2014, publient une méta-analyse ciblée sur un facteur précis et démontrent une association positive entre épaisseur corticale et stabilité primaire. Mais là encore, des essais cliniques bien menés supplémentaires sont nécessaires pour étayer cette conclusion.

Dalessandri et al. (35), en 2014, examinent les taux de succès et les facteurs affectant stabilité et réussite. Ils sont répertoriés en 3 catégories relatives :

- patient,
- implant,
- maintenance.

Au total, 18 facteurs sont étudiés. Il est difficile de conclure mais des tendances vers plus de réussite se dégagent :

- un âge supérieur à 20 ans ;
- le site receveur maxillaire ;
- une bonne hygiène orale, très importante pour la prévention de l'inflammation qui est associée à des taux d'échec plus élevés.

Concernant les revues systématiques, Cornelis et al. (31) en 2007, apportent les résultats suivants :

- la mise en charge immédiate semble acceptable avec des forces légères ;
- les échecs sont largement inexplicables ;
- des facteurs tels que le site, la procédure chirurgicale, la période de cicatrisation et l'intensité des forces pourraient influencer le taux de succès.
- Les effets du côté d'insertion, tels que l'inflammation péri-implantaire et la résorption radiculaire, sont rarement rapportés.

Cependant, cette revue est consacrée aux études animales et ces résultats ne sont donc pas forcément transposables à l'humain.

Janssen et al. (58) en 2008 passent en revue des études animales et humaines. Chez l'humain :

- les mouvements dentaires mésiodistaux et d'ingression peuvent être entrepris ;
- des forces comprises entre 100 et 400 gr peuvent être appliquées.

Chen et al. (26) en 2009 concluent :

- les mini-vis autotaraudantes doivent être sur-dimensionnées de 0,2 à 0,5 mm par rapport au diamètre et à la profondeur du pré-trou pour un couple d'insertion optimal ;

- une période de cicatrisation n'est pas nécessaire ;
- le choix des dimensions dépend d'abord de l'espace osseux disponible.

Reynders et al. (138) ont rejeté toutes les corrélations suggérées par manque de contrôle des variables incriminées. Le constat est clair : la recherche clinique n'en est qu'à ses débuts. Ils proposent une méthodologie intéressante pour les recherches futures avec un système de classification des variables et des définitions spécifiques des résultats primaires et secondaires.

En 2010, Crismani et al. (34) apportent leur contribution :

- des vis de 1,2 mm de diamètre et au moins 8 mm de long sont préconisées ;
- le maxillaire est plus favorable que la mandibule ;
- l'insertion sans lambeau est retenue ;
- la mise en charge immédiate ou précoce est possible.

Reynders et al. (139) se concentrent sur le couple d'insertion en 2012. Ils rapportent :

- toutes les associations proposées entre couple maximal d'insertion et facteurs relatifs à l'hôte, à la vis, au site ou à la chirurgie ont été rejetées ;
- il n'y a pas de preuve indiquant que certains niveaux de couple de pose sont associés à de meilleurs taux de réussite.

Enfin les revues de Schätzle et al. (147) en 2009 et Tsui et al. (170) en 2012 n'apportent pas d'éclairage quant aux facteurs d'influence des résultats des mini-vis.

Aucun essai clinique contrôlé randomisé concernant l'étude des facteurs d'influence n'a été retrouvé.

PARTIE III : RECHERCHE CLINIQUE

1. Introduction

Justification-Problématique-Objectifs-Type d'étude

Dans le cadre du service d'Odontologie de Rangueil du CHU de Toulouse, les mini-vis sont régulièrement utilisées. Face au constat du manque de données concernant le nombre de vis posées et perdues, il a été entrepris :

- de quantifier le nombre de vis posées,
- d'évaluer le taux global de succès.

L'objectif principal de l'étude est donc d'évaluer le taux de succès de mini-vis posées et suivies dans le cadre du service d'Odontologie de Rangueil.

De plus, comme nous venons de le voir précédemment, les échecs de mini-vis restent largement incompris et constituent un terrain de recherche relativement vierge. Nos objectifs secondaires sont logiquement d'essayer de dégager des facteurs significatifs d'influence ou des tendances.

Nous avons opté pour une étude de type rétrospectif, de manière à pouvoir rassembler un effectif suffisant de vis comptabilisées.

2. Matériel et méthode

2.1. Collecte des informations

La recherche s'est basée sur les archives des cahiers de compte-rendu du bloc opératoire comme point de départ. Tous les détails mentionnés pour chaque pose de vis ont été collectés, chaque fiche photographiée. Ainsi, théoriquement, les informations suivantes peuvent être consignées :

- Date
- Etat civil du patient
- Opérateur et aide-opérateur
- Nombre de vis
- Indication
- Déroulement de l'intervention
- Commentaires
- Prescriptions pré- et postopératoires

La période d'inclusion courre de janvier 2009 à novembre 2013. Le choix de la date de début se justifie par la grande variété de vis utilisées antérieurement et la difficulté à reprendre contact avec les opérateurs orthodontiques en charge des patients de l'époque.

Les stagiaires responsables des traitements orthodontiques ont ensuite été contactés pour fournir les renseignements nécessaires. A défaut, la consultation des mémoires d'activité clinique des anciens opérateurs non joignables a pu compléter la collecte des données.

Les informations sont classées en 5 catégories.

2.1.1. Patients

- Age (au moment de la pose)
- Sexe
- Etat général (pathologie, tabagisme, médication)
- Diagnostic synthétique :

Préalablement à la pose, les patients sont soumis systématiquement aux procédures classiques : examen clinique, photos exo- et endobuccales intra- et interarcades, prise d'empreintes, examen radiologique : orthopantomogramme et téléradiographie de profil au minimum, ou CBCT grand champ. Le diagnostic synthétique rapporte :

- les rapports squelettiques : typologie verticale, relation sagittale, sens transversal, les rapports dento-alvéolaires,
 - les rapports dentaires : classe d'Angle, surplomb, supraclusion, encombrement, situation des milieux interincisifs,
 - bilan fonctionnel et articulaire,
 - antécédents ODF éventuels.
- Hygiène

Elle est appréciée par le praticien orthodontiste et répartie en 3 classes : médiocre / moyenne / bonne, reprenant la littérature (134, 154).

2.1.2. Site

Il est choisi en fonction des besoins d'ancrage, du type de mouvement recherché, et des conditions anatomiques locales (notamment espace interradiculaire, anatomie radulaire, proximité sinusienne). La décision est collégiale après concertation entre l'orthodontiste et le chirurgien. Sa localisation précise est notée, ex : mésio-vestibulaire 16.

2.1.3. Mini-vis

- Type :

Les mini-vis utilisées sont les références Ancotek® de la marque Tekka®. Elles sont autotaraudantes et autoforantes, cylindriques, en $\alpha\beta$ Titanium non mordancé, et 3 types sont disponibles :

- OVTPCV ou vis d'ancrage vestibulaire
- OVTPCP ou vis d'ancrage palatin (tête surdimensionnée)
- OVE ou vis « écrou ». Munie d'une gorge permettant l'insertion d'un arc, la tête est filetée pour le vissage de l'écrou.



Figure 36: kit Ancotek® Tekka®
 Figure 37: mini-vis OVE « écrou » Ancotek® Tekka®

- Diamètre :
 - 1,2 mm
 - 1,5 mm
 - 2 mm

Il a pu parfois être obtenu par le code couleur des vis sur les photographies illustrant les mémoires d'activité clinique. Respectivement par diamètres croissants : bleu, vert, violet.

- Longueur :
 - 7 mm
 - 9 mm

2.1.4. Chirurgie

- Opérateur

Il est la plupart du temps issu du service d'ODF, mais il arrive que des praticiens issus d'autres services comme la chirurgie orale notamment, posent également des mini-vis. Le nom et la spécialité de l'intervenant sont recueillis.

- Nature du bilan radiologique : 2D ou 3D

Aucune publication n'ayant, à notre connaissance, rapporté une influence de la nature du bilan radiologique, il nous a paru judicieux de tester l'hypothèse selon laquelle un bilan tridimensionnel, par la richesse des informations fournies affinant la précision de la pose, améliore le taux de succès par rapport à un bilan bidimensionnel.

- Pré-trou ou non

Les forets utilisés sont de marque Tekka® et de 2 références selon le diamètre :

- FOS 0,8
- FOS 1,1

- Pose manuelle / contre-angle

Le vissage manuel peut se faire grâce à un manche de tournevis classique Tekka® MTM surmonté d'une des 3 clés cloche disponibles :

- ACC 2,2
- ACC 3
- ACVB 2,2

Il peut aussi se faire avec un tournevis cloche hexamanuelle ACM 2,2.
Un contre-angle d'implantologie est disponible si besoin.

- Lambeau ou non

- Vis enfouie ou non

Généralement, une vis enfouie requiert un lambeau. Mais l'opérateur peut aussi décider de poser en zone muqueuse en position profonde de manière à ce qu'elle soit enfouie sans lambeau. Ex : vis zygomatique.

- Gencive attachée / muqueuse

- Ancrage : mono- / bicortical

Apprécié par l'opérateur orthodontique en fonction de l'épaisseur osseuse alvéolaire et de la longueur de la vis.

- Extraction proximale

L'impact d'un geste associé à la pose, tel qu'une extraction proximale à la vis en particulier, n'est a priori pas documenté. Or le remodelage osseux du site d'extraction, quand il est proche de la vis, pourrait légitimement être un facteur de risque. Nous avons donc voulu tester l'hypothèse.

Les autres gestes associés (germectomie, extraction non proximale, frénectomies labiale ou linguale, dégagement coronaire de dent incluse, lambeau déplacé) ont été notés au passage.

- Incident

Le manque de stabilité primaire nécessitant repose extemporanée de la vis a été recensé.

2.1.5. Orthodontie

- Indication :

- Mésialisation
- Distalisation
- Ingression
- Traction ou égression
- Maintien

Les redressements molaires (distoversion), les reculs en masse et les mouvements globaux de recul d'arcade sont comptabilisés dans la catégorie distalisation sans distinction. Il nous a paru plus simple de ne pas rentrer dans des considérations quantitatives, difficiles à mettre en place tant au niveau de la collecte des informations, avec souvent un nombre variable de dents concernées suivant la période du traitement, qu'au niveau de l'analyse statistique et de l'interprétation des résultats.

- Mise en charge : immédiate / différée

Par mise en charge immédiate, nous entendons, le jour même de la pose. Le patient sort du bloc et, dans la foulée, il est pris en charge dans le service d'ODF.

Dans le cas contraire, la mise en charge est étiquetée « différée » et le délai répertorié.

- Mécanique : directe / indirecte

Peu documenté, l'impact du type de mécanique sur le succès ou l'échec peut ainsi être testé.

- Module utilisé :
 - ressort comprimé acier,
 - ressort comprimé NiTi,
 - ressort étiré acier,
 - ressort étiré NiTi,
 - chaînette élastomérique.

- Durée de la mécanique sur vis
Quantifiée en mois.

- Incidents

Sont consignés :

- perte spontanée,
- mobilité importante impliquant dépose et soit repose de la même vis dans un nouveau site, soit pose d'une nouvelle vis,
- mobilité simple impliquant tout au plus un revissage,
- gingivite péri-implantaire,
- hyperplasie gingivale,
- douleur

Un minimum de 6 mois de suivi orthodontique est adopté comme critère d'inclusion, étant donné que la grande majorité des échecs surviennent précocément (19, 27, 57, 117, 118, 185), nous permettant d'inclure plus de vis qu'avec un suivi jusqu'à la fin de la mécanique sur mini-vis.

2.2. Constitution de la base de données

Un fichier numérique unique est constitué en fusionnant les tableaux des 5 catégories sus-citées. L'unité statistique correspond à une mini-vis insérée.

2.2.1. Patients

Devant la quantité de données manquantes, l'étude du facteur « état général » a été abandonnée. Pour les informations du diagnostic synthétique, seule la typologie verticale a été retenue, considérant le faible impact des autres paramètres dans la littérature. Elle est évaluée selon Steiner (GoGn/Sn) et Tweed (FMA) et distribuée en 5 classes :

- hypodivergence,
- pseudohypodivergence,
- normodivergence,
- pseudohyperdivergence,
- hyperdivergence.

L'âge, le genre, et l'hygiène ont également été consignés.

2.2.2. Site

Les données relatives au site sont encodées selon :

- le côté droit ou gauche,
- l'arcade maxillaire ou mandibulaire,
- le versant vestibulaire ou palatin,
- la localisation précise dans le secteur concerné (ex : mésial de 2^{ème} prémolaire).

2.2.3. Mini-vis

Etant donné la faible pertinence de l'étude comparative des vis de morphologie vestibulaire ou palatine, nous avons préféré classer le type de vis selon : OVE / non OVE. Ainsi, les répercussions d'un éventuel moment peuvent être envisagées.

2.2.4. Protocole chirurgical

L'immense majorité des mini-vis étant posées sans lambeau, en gencive kératinisée et de manière à être utilisées classiquement de façon transgingivale, nous avons décidé de ne pas prendre en compte les critères « lambeau », « type de tissus mous » et « vis enfouie ».

L'infime quantité (une seule vis) de pose au contre-angle nous a contraint à ne pas en tenir compte non plus.

De même, devant l'approximation et le petit nombre de réponses au sujet de l'ancrage mono- ou bicortical, nous n'avons pas poursuivi les investigations de ce côté là.

2.2.5. Procédure orthodontique

La mise en charge n'étant différée qu'à de très rares exceptions près, nous n'avons pas pris en compte ce type de modalités.

Le manque de données et leur défaut de précision à propos de la durée de la mécanique sous mini-vis nous a également conduit à en abandonner l'étude.

Le type de mécanique réduit à 2 critères, directe ou indirecte, ne permet pas de dissocier les mécaniques de maintien pur, sans module de force, des mécaniques avec mouvement dentaire et module de force. De plus, la variable « module » ne permet pas d'inclure les ligatures métalliques. Il a fallu repenser la classification (tableau 3). Nous avons opté d'une part pour une désignation « lien », rigide ou non, pour distinguer les ligatures métalliques des modules de force. D'autre part, la codification de la force

appliquée, continue (ressort acier ou NiTi), semi-continue (chainette) ou absente (ligature métallique), nous a permis de prendre en compte le type de modules. Par recoupement, il est possible de distinguer les mécaniques de mouvements directes et indirectes.

Tableau 3: classification du type de lien et de force donnant le type de mécanique

	Lien	Force
Mécanique directe	non rigide	continue ou semi-continue
Mécanique indirecte	rigide	continue ou semi-continue
Maintien	rigide	absente

Les incidents orthodontiques ont été systématisés en 2 catégories :

- La « perte de la vis » regroupe à la fois les pertes spontanées mais aussi tout autre événement conduisant à la dépose comme une mobilité excessive, une perte d'ancrage de la vis, une douleur persistante, une réaction inflammatoire exagérée.
- La « mobilité simple » n'implique pas la dépose. Un revissage peut être réalisé, la fonction d'ancrage est maintenue.

2.3. Analyse statistique

Le critère de jugement du succès ou de l'échec correspond à la « perte de la vis » comme défini précédemment.

L'analyse descriptive de la base de données est univariée. Pour les variables quantitatives, les résultats sont formulés par la moyenne et l'écart-type et pour les variables qualitatives par la distribution en pourcentages selon les classes.

L'identification de facteurs d'influence ou de tendances est ensuite menée selon une analyse bivariée entre les variables « perte » et « mobilité simple » avec chacune des classes des autres variables évoquées.

Les données ont été analysées par le logiciel Stata®. Le seuil de signification statistique retenu est classiquement fixé à $p = 0,05$ pour l'ensemble des tests réalisés.

3. Résultats

Au cours de ces presque 5 années, 379 vis furent posées sur 147 patients.

Le taux global de perte est de 15,04 % (annexe 4). Le taux global de mobilité est de 7,92 % (annexe 5)

Concernant la démographie, 98 femmes ont été recensées pour 201 vis et 45 hommes pour 82 vis (annexe 6). L'âge observé s'étale de 11 à 65 ans avec une moyenne de $25,6 \pm 13,3$ ans.

Nous n'avons trouvé aucun effet des facteurs étudiés sur la mobilité simple. En revanche, l'étude du paramètre « perte » nous a fourni des informations dignes d'intérêt.

3.1. Patients

L'âge, la typologie (annexe 7) et le genre n'ont pas montré de différences significatives en terme de perte.

En revanche, l'hygiène apparaît clairement comme un facteur de perte de mini-vis : lorsque l'hygiène est médiocre, il y a plus de perte de vis avec une forte significativité statistique ($p = 0,002$). (Annexe 8)

3.2. Site

La position vestibulaire ou palatine, n'affecte pas la réussite des mini-vis.

On note, cependant, une tendance à perdre plus de vis du côté droit (NS ; $p = 0,080$). (Annexe 9)

De plus, l'arcade et la position dans le secteur sont des facteurs significatifs de perte de vis : les pertes sont plus importantes à la mandibule ($p = 0,002$) et d'autant plus le que site est postérieur ($p = 0,005$). (Annexes 10, 11)

3.3. Mini-vis

Longueur et type de vis n'ont pas de répercussions sur le succès des mini-vis. Mais nous trouvons que celles de 2 mm de diamètre ont tendance à se perdre plus que les autres (NS ; $p = 0,127$). (Annexes 12, 13, 14)

3.4. Protocole chirurgical

L'opérateur pris individuellement, le préforage (annexe 15), la nature du bilan radiologique (annexe 16) et l'extraction proximale (annexe 17) ne révèlent que des variations imputables au hasard seul.

La catégorie orthodontistes présente une légère tendance à perdre des vis plus facilement (NS ; $p = 0,075$). (Annexe 18)

L'instabilité primaire, avec déplacement extemporané à la pose, constitue un facteur significatif de perte ($p = 0,050$). (Annexe 19)

3.5. Procédure orthodontique

Nous n'avons pas trouvé de corrélation entre le type de mouvement, le type de lien, le type de force et succès ou échec. (Annexes 20, 21)

Tableau 4: Résultats bruts par variable

Variable clinique	Taux de réussite (%)	Taux de réussite (n)	Significativité (p)
Genre			
Homme	85,21	70/82	0.165
Femme	78,11	157/201	
Typologie			
hypo.	69,09	38/55	0.181
pseudohypo.	85,71	24/28	
normo.	81,19	82/101	
pseudohyper.	91,67	11/12	
Hyper.	82,93	68/82	
Hygiène			
médiocre	67,47	56/83	0,002
moyenne	85,88	73/85	
Bonne	85,45	94/110	
Bilan radio.			
2D	76,32	87/114	0,166
3D	83,03	137/165	
Site			
vestibulaire	80,56	203/252	0,586
Palatin	76,00	19/25	
Localisation			
mésial 3	94,12	16/17	0,005
mésial 4	100,00	11/11	
mésial 5	86 ,49	32/37	
mésial 6	81,63	120/147	
mésial 7	65,08	41/63	
Arcade			
maxillaire	84,47	174/206	0,002
mandibulaire	67,95	53/78	
Côté			
Droit	75,54	105/139	0,080
Gauche	83,92	120/143	
Pré-trou			
Oui	73,53	25/34	0,284
Non	81,40	175/215	
Extraction proximale			
Oui	64,29	9/14	0,136
Non	80,68	213/264	
Catégorie opérateur			
ODF	78,03	174/223	0,075
CO	91,18	31/34	
Diamètre			
1,2 mm	83,04	93/112	0,127
1,5 mm	84,85	84/99	
2 mm	64,71	11/17	
Longueur			

7 mm	86,36	95/110	
9 mm	91,18	31/34	0,458
Type			
OVE	80,00	12/15	
non OVE	79,43	85/107	0,767
Complication chir.			
Instabilité + repose	55,56	5/9	
RAS	81,05	201/248	0,050
Indication			
mésialisation	90,91	20/22	
distalisation	79,78	142/178	
traction/égression	80,56	29/36	0,515
Maintien	86,49	32/37	
Lien			
Rigide	79,14	110/139	
non rigide	82,86	116/140	0,428
Force			
Continue	77,67	80/103	
semi-continue	80,62	104/129	0,475
Absente	86,84	33/38	

4. Discussion

Les mini-vis sont une innovation relativement récente et bien que largement utilisées, la compréhension des facteurs qui affectent leur taux de succès est mince. C'est pourquoi, dans cette étude, nous avons voulu inclure autant de facteurs que possible relatifs au patient, au site, aux mini-vis, aux protocoles chirurgicaux et orthodontiques.

Le taux de réussite des vis renseignées est de 79,92% (sans les 95 données manquantes) se situant dans la norme des résultats fournis par la littérature de haut niveau de preuve (31, 34, 35, 58, 132, 133, 138, 147, 170) avec un ordre de grandeur avoisinant les 80%.

L'étude de la mobilité simple s'est avérée non concluante et nos résultats ne permettent pas d'émettre de pronostic. La mobilité n'est donc pas prédictible avec nos résultats mais la mobilité excessive faisant partie des pertes, des recherches supplémentaires spécifiques sont nécessaires pour mieux quantifier et qualifier la mobilité.

4.1. Facteurs relatifs au patient

Concernant l'âge, dans l'étude présente, nous retrouvons un âge moyen inférieur dans le groupe échec par rapport au groupe succès. Mais la différence est minime (25,9 vs 26,3 soit 0,41 ans) et non significative ($p = 0,836$). Nos résultats sont donc dans la lignée de bon nombre d'études (3, 25, 61, 64, 70, 86, 87, 115, 117, 118, 134, 168, 181). Nous ne pouvons pas émettre l'hypothèse que la maturité osseuse impacte le succès des mini-vis par le biais de la densité osseuse ou de l'épaisseur de la corticale.

Concernant le genre, nous notons une différence remarquable avec un taux d'échec chez les femmes de 21,89 % pour 14,63 % chez les hommes. Le résultat n'est cependant pas significatif (NS ; $p = 0,165$). Notre étude se rapprocherait de celles de Manni et al. (97) et Sharma et al. (154) qui, eux, trouvent respectivement un lien significatif et une tendance. Les caractéristiques osseuses leur semblent plus favorables chez l'homme. Cependant une grande partie de la littérature donne des résultats contradictoires sans différence homme / femme (24, 25, 34, 35, 61, 67, 70, 77, 86, 115, 117, 118, 121, 123, 134, 168, 178, 181, 192)

Concernant la typologie, les résultats ne sont pas significatifs (NS ; $p = 0,181$) et difficilement interprétables. Le taux d'échec des hypodivergents est presque le double (30,91%) de celui des hyperdivergents (17,07%). Le taux des pseudohyperdivergents est le plus bas (8,33%) mais leur effectif est faible (12 vis pour 5 patients). Les pseudohypodivergents et les normodivergents présentent des taux comparables aux hyperdivergents : respectivement 14,29%, 18,81% et 17,07%. Ainsi l'hypothèse d'une meilleure stabilité des mini-vis en fonction de la typologie osseuse, censée influencer par l'épaisseur et la densité corticale (118) et donc censée être plus favorable chez l'hypodivergent, ne peut être corroborée ici. L'étude de la typologie selon une variable continue (par ex : FMA ou GoGn/Sn) serait indiquée.

4.2. Facteurs relatifs au site

Concernant le versant, vestibulaire ou palatin, nous ne trouvons rien de significatif ($p = 0,586$). La littérature montre parfois des taux de réussite plus faible en palatin imputable à la susceptibilité inflammatoire associée à l'importante épaisseur muqueuse ou l'épaisseur osseuse corticale moindre (8, 9, 74, 185).

Concernant le côté, nous notons un résultat intéressant déjà publié (134, 192). Le côté droit présente une tendance (NS ; $p = 0,080$) à perdre plus de vis (24,46% vs 16,08%). La meilleure hygiène à gauche pour une population majoritairement droitère nous paraît plausible aussi (166). De plus, le fait que les opérateurs soient majoritairement droitiers pourrait également intervenir sur le placement de la vis (43).

Concernant la localisation, nous observons un résultat marquant : plus les mini-vis sont postérieures, plus les pertes sont significativement importantes ($p = 0,005$). En effet, de mésial 4 à mésial 7, le taux de réussite passe de 100% à 86,49%, 81,63%, et 65,08% (94,12% en mésial 3).

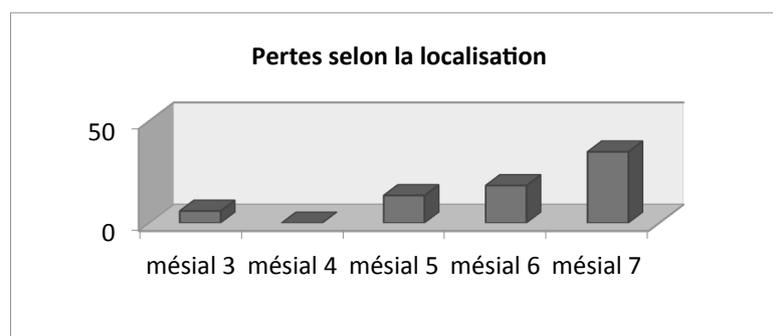


Figure 38: pertes selon la localisation

L'effectif de vis en mésial 4 est restreint, 11 unités, mais il n'est pas négligeable en mésial de 5, 6 et 7 : 37, 147 et 63 unités (17 en mésial 3). Ce résultat est similaire à ceux d'autres études.

Tseng et al. (169) montrent des taux de 100% en antérieur au maxillaire et à la mandibule, et en postérieur 95% au maxillaire et 85,7% à la mandibule.

Takaki et al. (165) rapportent des taux de réussite vestibulaire maxillaire de 94% en antérieur et 92% en postérieur et à la mandibule : 100% en antérieur et 75% en postérieur.

Kuroda et al. (70) énoncent des taux de réussite vestibulaire maxillaire de 95,6% sur site prémolaire, 66,7% sur site molaire et à la mandibule : 88,9% en prémolaire et 66,7% en molaire.

Chen et al. (25) trouvent des taux de réussite vestibulaire maxillaire de 87,5% sur site antérieur, 85,7% sur site postérieur.

Cheng et al. (27) rapportent des résultats du même ordre dans une analyse de survie.

Cependant, contrairement à la majeure partie des publications, dans notre étude nous avons individualisé précisément chaque site.

D'autres recherches seraient utiles pour en préciser les mécanismes explicatifs. L'hygiène plus difficile en postérieur, susceptibilité accrue aux infections, proximité radiculaire, épaisseur corticale mandibulaire trop importante en postérieur avec échauffement à la pose ou trop fine au maxillaire, contraintes occlusales, forces d'impaction alimentaire sont des pistes envisageables.

Concernant l'arcade en question, le site receveur maxillaire apparaît nettement et significativement ($p = 0,002$) moins à risque que la mandibule : 20 points d'écart pour les taux de succès avec un taux d'échec doublé à la mandibule (32,05% vs 15,53%). Nous sommes donc dans la continuité de bon nombre de publications rétrospectives (24, 97, 117, 165), prospectives (9, 72, 134, 164, 181, 185, 192), revue systématique (34) ou méta-analyses (35, 133). Cependant, même sur ce sujet bien documenté, le consensus n'est pas établi et la littérature fournit aussi des résultats contradictoires de haut niveau de preuve (méta-analyse (132)). Là encore, d'autres travaux sont nécessaires pour clarifier le sujet et, le cas échéant, faire le tri dans les multiples explications avancées : accessibilité à la pose, sites fréquemment plus antérieurs au maxillaire et plus postérieurs à la mandibule, quantité de tissus kératinisés, densité osseuse et contraintes de vissage associées, proximités radiculaires, vascularisation, irritation à la mastication.

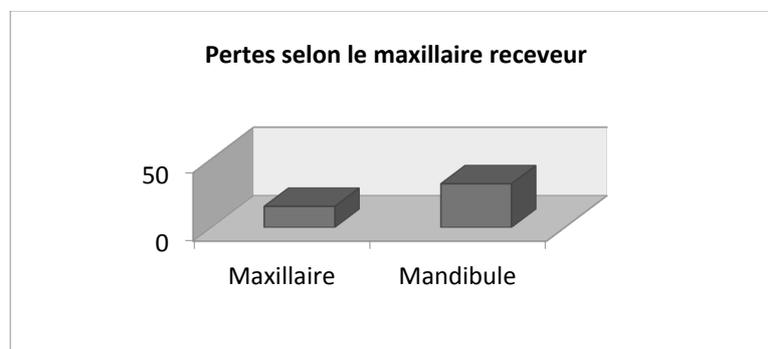


Figure 39: pertes selon le maxillaire receveur

4.3. Facteurs relatifs aux mini-vis

Concernant la longueur, nos résultats non significatifs se rapprochent d'expérimentations (54,177), d'études rétrospectives (24, 70, 86, 87), prospectives (9, 18, 41, 134, 164, 178), ainsi que d'une revue systématique (138)

Nos résultats encouragent donc également, par précautions, l'utilisation de vis de 7 mm plutôt que 9 mm. Mais tandis que certains (28) prônent l'utilisation de vis très courtes de longueur non testée dans notre étude, 5 mm, d'autres (98) étayent le rôle de l'os trabéculaire comme facteur de stabilité primaire soutenant les vis longues.

Concernant le type, l'hypothèse OVE-non OVE n'a pas été testée dans la littérature retrouvée bien que cela puisse paraître influent (148). L'absence d'incidence du type de la vis nous conforte, a priori, dans l'utilisation des vis OVE et non OVE.

La tendance observée (NS ; $p = 0,127$) à perdre plus de vis de 2 mm de diamètre (35,29% d'échec) que de 1,2 et 1,5 mm (16,94% et 15,15%) est en contradiction avec la littérature qui retrouve généralement soit un lien positif entre succès et diamètre (9, 21, 34, 43, 85, 91, 97, 115, 119, 188, 191), soit une absence de lien (18, 24, 70, 86, 87, 134, 177). Seuls Topouzelis et al. (168) ont des résultats se rapprochant des nôtres avec de meilleurs résultats pour des diamètres inférieurs.

Pourraient être invoqués :

- des besoins d'ancrage forts avec des forces orthodontiques lourdes,
- le recours aux grands diamètres dans des sites à risques : en palatin par exemple avec une importante épaisseur muqueuse et corticale ou en postérieur. (8, 9, 74, 185)

Ainsi le recours aux diamètres de 1,2 et 1,5 mm semble concilier meilleur pronostic de la mécanique et prévention des lésions anatomiques de voisinage.

4.4. Facteurs relatifs au protocole chirurgical

Concernant le préforage, notre étude ne montre pas d'effet de ce paramètre ($p = 0,284$). Notre résultat n'incite donc pas à recourir au préforage car à taux identiques, mieux vaut éviter d'accroître le risque de lésions radiculaires et faciliter les suites opératoires en terme de douleur et d'inconfort (138, 178). Toutefois, les résultats seraient peut-être différents si cette évaluation avait été associée au site car, le préforage n'étant indiqué que sur les corticales épaisses et denses, la localisation et l'arcade concernée entrent en jeu. Mais notre étude a été volontairement restreinte à une analyse bivariée.

Concernant, l'opérateur, le succès ne paraît pas « opérateur-dépendant », comme déjà émis dans certains articles (77, 86, 87). Mais la catégorie des opérateurs orthodontistes (NS ; $p = 0,075$) montre une tendance avec 2,5 fois plus de perte (21,97%) que les chirurgiens (8,82%), fait déjà rapporté de manière significative mais dans une étude (25) avec des vis différentes selon la catégorie d'opérateur. Etude dans laquelle, avec des vis identiques, la différence n'était plus relevée.

Plusieurs explications sont possibles :

- un biais à la pose dans le choix des vis et la procédure. A protocole de pose et vis identiques, il serait intéressant de comparer les échecs. Le contrôle de la séquence pourrait aussi être amélioré : en cas d'extraction associée, les orthodontistes ont tous systématiquement d'abord posé la vis tandis que les chirurgiens ont tous systématiquement commencé par l'avulsion.
- le nombre de vis posées. On peut noter de grandes variations : 223 vis pour les orthodontistes et 34 pour les chirurgiens.
- le nombre d'opérateurs par catégorie, mais on en relève 9 pour les orthodontistes et 7 pour les chirurgiens, soit un écart minime.
- Les stagiaires, par rapport aux titulaires, posent plus de vis du côté des orthodontistes (6 vs 3). Or l'expérience a déjà été démontrée comme un facteur de réussite (67). Nous avons donc testé l'expérience en opposant les 2 opérateurs largement aguerris de la catégorie ODF versus les stagiaires ODF (résultat non détaillé). Nous n'avons pas trouvé de différence significative selon l'expérience, comme d'autres publications précédentes (77, 86, 87).

Concernant le bilan radiologique, il est intéressant de voir des taux d'échec plus élevés avec une imagerie 2D traditionnelle, 23,68% contre 16,97% pour l'imagerie 3D plus riche. Mais bien que ce type d'acquisition aide à optimiser le choix du site et de la vis, ainsi que la précision de la pose, notre résultat n'est pas significatif ($p = 0,166$). Notre approche est a priori inédite dans la littérature, cette hypothèse n'ayant auparavant pas été testée à notre connaissance. Etudier le risque éventuel d'un bilan 2D sur les pertes de mini-vis en fonction du site serait pertinent.

Une extraction proximale à la vis associée à la pose montre des taux de perte variant quasiment du simple au double (sans : 19,32%, avec : 35,72%) mais de manière non significative ($p = 0,136$). Ce résultat est donc rassurant pour l'opérateur qui peut, a priori, associer favorablement pose et extraction extemporanée. L'étude de ce facteur est également inédite, ce résultat demande donc à être confirmé par des études de qualité méthodologique supérieure : essais prospectifs avec des effectifs plus importants encore. Une approche quantitative de la distance de sécurité vis-alvéole serait primordiale à connaître.

L'instabilité et le déplacement extemporané à la pose montrent des taux d'échec statistiquement différents ($p = 0,050$) variant d'un facteur 2,3 par rapport aux vis stables d'emblée (44,44% vs 18,95%). Mais les effectifs sont très disparates : 9 instabilités pour 248 vis stables d'emblée. Ce résultat contredit Baek et al. (3) qui ne trouvent pas de différence entre vis initialement installées et réinstallées immédiatement dans un site adjacent. Pour notre résultat, il pourrait s'agir simplement d'un signe d'appel de sujets à risque avec des corticales fines. Confortant ainsi un peu plus la pertinence et le bien fondé du bilan radiologique 3D.

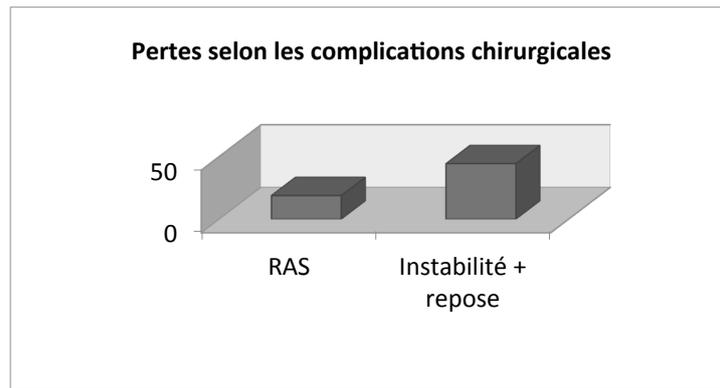


Figure 40: pertes selon les complications chirurgicales

4.5. Facteurs relatifs à la procédure orthodontique

Concernant l'indication, nous ne trouvons pas de différences autres que celles dues au hasard malgré des taux de succès variant de 79,78% à 91,91%, tout comme Sharma et al. (154), Luzi et al. (95), Cheng et al. (27). Ainsi, nous pouvons supposer qu'il n'y a pas, or ingression (données manquantes), de mouvement à risque et que l'ancrage vissé peut s'envisager pour mésialer, distaler, égresser ou maintenir. Notre approche fut simplificatrice et nos effectifs hétérogènes : mésialisation 22 vis, distalisation 178 vis, égression 36 vis, maintien 37 vis. Des études supplémentaires spécifiques et détaillées seraient utiles car d'autres publications ont montré des effets du type de mouvement (1, 24, 25, 32, 58, 70, 168).

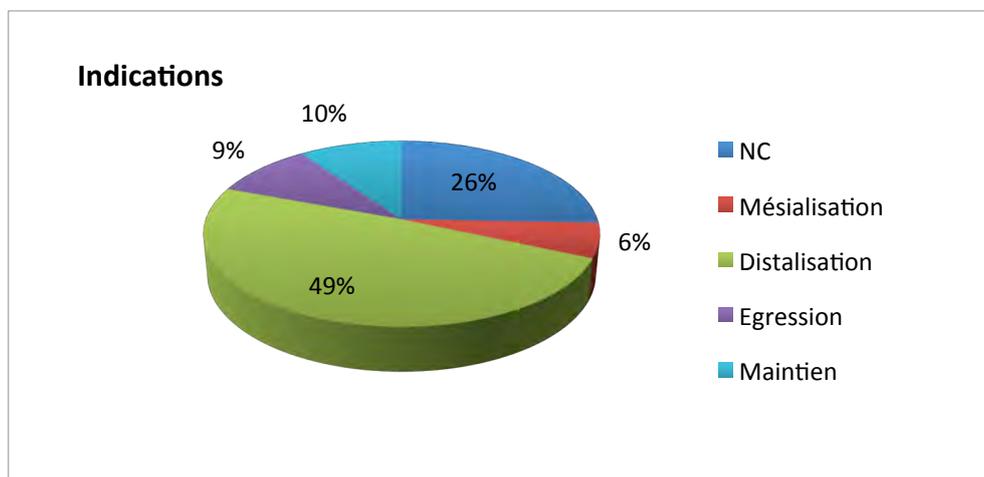


Figure 41: indications de pose

Concernant lien et force, leur non significativité nous renseigne, a priori, sur l'équivalence au risque des mécaniques directe, indirecte et de maintien (confirmant le résultat précédent sur la possibilité des mécaniques de maintien). Le sujet est peu documenté mais d'autres études montrent des résultats similaires (1, 27, 154). Les différents types de modules peuvent être utilisés, constat identique à la littérature (25, 134, 154). Des travaux avec une homogénéité des effectifs accrue pourraient contribuer à d'autres résultats. (force continue : 38 vis, semi-continue : 103 vis, absente : 129 vis).

Concernant l'hygiène bucco-dentaire, notre étude apporte un résultat marquant. Alors que l'inflammation a déjà été rapportée comme un facteur d'influence sur la pérennité des mini-vis (25, 115, 134, 154, 178), peu de publications impliquent directement l'hygiène (70, 118, 192). Pour Park et al. (134), elle est indirectement incriminée par le fait que l'échec est plus marqué du côté droit. Pour d'autres encore, l'hygiène n'est pas un facteur significatif (27, 77).

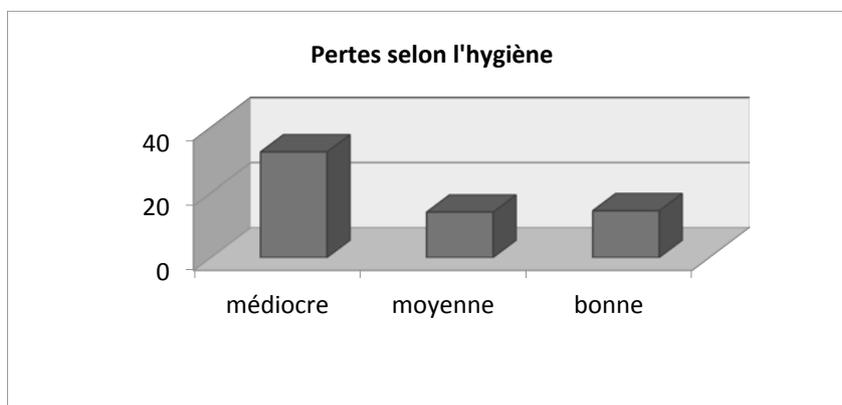


Figure 42: pertes selon l'hygiène

Or, elle apparaît fortement corrélée dans nos résultats ($p = 0,002$) lorsqu'elle est médiocre, avec un taux d'échec 2,2 à 2,3 fois celui d'une hygiène moyenne ou bonne (32,53% vs 14,12% et 14,55%). On peut soupçonner le caractère rétrospectif de l'étude d'avoir pu introduire un biais dans les réponses des opérateurs orthodontistes marqués, peut être, par les pertes influençant l'évaluation de l'hygiène. Cependant, dans notre étude, la tendance à de meilleurs taux à gauche et l'aspect significatif de pertes croissantes en postérieur enfoncent encore le clou.

Le sujet mériterait des études prospectives avec un suivi régulier du contrôle de plaque pour y voir plus clair.

4.6. Biais

La principale autocritique que nous pouvons formuler est le nombre de données manquantes (annexes 4-21). Des raisons internes au centre peuvent être invoquées : fiches de blocs parfois absentes, souvent incomplètes (dimensions ?), anciens stagiaires non joignables, manque de rigueur dans la tenue des dossiers cliniques. Des raisons externes sont aussi avancées : pose de vis pour des patients non suivis à Ranguel.

Le choix des critères de succès et d'échec est discutable : le fait de n'avoir, pour certaines vis, qu'un suivi sur 6 mois peut être source d'erreur. En effet, sans suivre chaque vis jusqu'à la fin des traitements entrepris, il est possible que des échecs tardifs aient été masqués.

Une source de biais possible à la pose réside dans le fait que certaines vis ont été posées hors bloc opératoire. On pourrait légitimement mettre en question la similitude des conditions de pose.

CONCLUSION

L'intérêt de l'ancrage osseux dans la pratique orthodontique est évident. Ainsi, les mini-vis, par la simplicité de leur pose, et dépose, leurs multiples indications et leur coût, ont constitué une révolution à la fois dans les objectifs thérapeutiques et dans l'exercice clinique quotidien. Mais force est de constater le contraste entre l'utilisation largement répandue de ces auxiliaires d'ancrage et l'absence de données de niveau preuve élevé sur la plupart des facteurs de risque suspectés. Leur taux de réussite confortable pourrait encore être amélioré grâce à une meilleure compréhension des échecs.

Dans notre analyse de la littérature, nous avons pu observer l'absence de consensus sur les critères de définition du succès et de l'échec des thérapeutiques sur mini-vis. Concernant l'étude des facteurs de risque, on y distingue diverses catégories relatives à :

- hôte,
- site,
- mini-vis,
- protocole chirurgical,
- procédure orthodontique,
- maintenance.

Les affirmations de niveau de preuve le plus élevé relèvent des méta-analyses et incriminent inflammation, site mandibulaire, âge jeune et corticale fine. Selon les revues systématiques, il est préconisé une pose sans lambeau, un sous-dimensionnement précis d'un éventuel pré-trou, une mise en charge immédiate avec des forces légères. Le choix du site et de la vis paraît déterminant. Cependant peu d'études présentent une méthodologie satisfaisante permettant une interprétation claire des résultats qui, bien souvent, sont contradictoires d'une publication à l'autre.

Notre recherche clinique rétrospective a porté sur 379 vis posées sur 147 patients couvrant une période de 5 ans dans le cadre du service d'Odontologie de Ranguel. Le taux d'échec global était de 15% et le taux de réussite des vis renseignées de 80%. Bien que des données manquantes soit relevées, l'hygiène apparaît comme un facteur significatif de risque de perte de mini-vis, de même que la position postérieure sur le secteur, le site mandibulaire et l'instabilité à la pose. Nous avons trouvé ici des tendances au risque non significatives impliquant la spécialité de l'opérateur (orthodontistes ou chirurgiens oraux), le côté droit et le diamètre (1,2 mm, 1,5 mm ou 2 mm).

Des essais cliniques supplémentaires bien menés, de type prospectif, sont nécessaires pour étayer nos résultats et creuser de nouvelles pistes de recherche, comme la nature du bilan radiologique et une extraction proximale à la vis extemporanée à la pose, explorées pour la première fois.

La recherche clinique sur le sujet n'en est qu'à ses débuts : victimes de leur succès et de leur nouveauté, les mini-vis manquent d'essais cliniques randomisés avec des effectifs suffisamment importants pour fournir des preuves scientifiques minimisant les biais potentiels.

Vu le précédent de
Thèse

Vu le procès de
jug

P. M. Sixou
le 16/09/2013

BIBLIOGRAPHIE

1. **Antoszewska J., Papadopoulos M. A., Park H-S, Ludwig B.**, Five-year experience with orthodontic miniscrew implants : A retrospective investigation of factors influencing success rate, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2009;136:158-9
2. **Asscherickx K., Vande Vannet B., Wehrbein H., Sabzevar M.**, Success rate of miniscrews relative to their position adjacent to the roots, *Eur J Orthod*, 2008;30:330-335
3. **Baek S.-H., Kim B.-M., Kyung S.-H., Lim J.K., Kim Y.O.**, Success rate and risk factors associated with mini-implants reinstalled in the maxilla, *Angle Orthod*, 2008;78:5
4. **Baron P., Gualano C.**, Anchorage control performed with mini-screws and the Lingual-jet Appliance. In : Echarri P., Takemoto K et al., *Nuevo Enfoque en Ortodoncia Lingual*, Madrid : éd. Ripano, 2010:15-26
5. **Baron P.**, Impact des mini-vis d'ancrage sur les traitements multibagues sans extractions, *Rev Orthop Dento Faciale* 2014;48:173-192
6. **Baron P.**, Quoi de neuf en pratique orthodontique ? : une interview avec Mr Baron. *Dental tribune*, novembre 2011;p.10-11
7. **Baumgaertel S.**, Temporary skeletal anchorage devices : the case for miniscrews, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2014;145(5):558-564
8. **Berens A., Wiechmann D., Rüdiger J.**, L'ancrage intra-osseux en orthodontie à l'aide de mini- et de microvis, *Int Orthod* 2005;3:235-243
9. **Berens A., Wiechmann D., Dempf R.**, Mini- and micro-screws for temporary skeletal anchorage in orthodontic therapy, *J Orofac Orthop*, 2006 ;67 :450-8
10. **Block, M. S., Hoffman D. R.**, A new device for absolute anchorage for orthodontics, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1995;107(3):251-8
11. **Boileau M.-J.**, *Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte – Principes et moyens thérapeutiques*, éd. Elsevier Masson, 2011:147-151
12. **Bousquet F., Bousquet G., Mauran G., Parguel P.**, Use of an impacted post for anchorage, *J Clin Orthod*, 1996;35:663-667
13. **Bränemark, P.-I., U. Breine, R. Adell, Hansson B. O., Lindström J., Ohlsson A.**, Intra-osseus anchorage of dental prosthesis, Experimental studies. *Scand J Plast Reconstr Surg*, 1969;3:81-100

14. **Brettin B. T., Grosland N. M., Qian F., Southard K. A., Stuntz T. D., Morgan T.A., Marshall S. D., Southard T. E.,** Bicortical vs monocortical orthodontic skeletal anchorage, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2008;134:625-35
15. **Brown R. N., Sexton B. E., Chu T.-M. G., Katona T. R., Stewart K. T. Kyung H.-M., Liu S. S.-Y.,** Comparison of stainless steel and titanium alloy orthodontic miniscrew implants : a mechanical and histologic analysis, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2014;145:496-504
16. **Cehreli S., Arman-Ozcirpici A.,** Primary stability and histomorphometric bone-implant contact of self-drilling and self tapping orthodontic microimplants, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2012;141:187-95
17. **Cha B.-K., Lee Y.-H., Lee N.-K., Choi D.-S., Baek S.-H.,** Soft tissue thickness for placement of an orthodontic miniscrew using an ultrasonic device, *Angle Orthod*, 2008;78(3):403-408
18. **Chaddad K., Ferreira A. F.H., Geurs N., Reddy M. S.,** Influence of surface characteristics on survival rates of mini-implants, *Angle Orthod*, 2008;78(1):107-113
19. **Chang J. Z.-C., Chen Y.-J., Tung Y.-Y., Chiang Y.-Y., Lai E. H.-H., Chen W.-P., Lin C.-P.,** Effects of thread depth, taper shape, and taper length on the mechanical properties of mini-implants, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2012;141:279-88
20. **Chateau M.,** *Orthopedie dento-faciale.* Julien Prelat Ed. Paris;1970
21. **Chatziigianni A., Keilig L., Reimann S., Eliades T., Bourauel C.,** Effect of mini-implant length and diameter on primary stability under loading with two force levels, *Eur J Orthod*, 2011;33:381-387
22. **Chaushu S., Chaushu G.,** Skeletal implant anchorage in the treatment of impacted teeth-A review of the state of art, *Semin Orthod*, 2010;16:234-241
23. **Chen F., Terada K., Hanada K., Saito I.,** Anchorage effect of osseointegrated vs nonosseointegrated palatal implants, *Angle Orthod*, 2006;76(4):660-665
24. **Chen Y.-J., Chang H.-H., Huang C.-Y., Hung H.-C., Lai E. H.-H., Yao C.-C. J.,** A retrospective analysis of the failure rate of three different orthodontic skeletal anchorage systems, *Clin Oral Impl Res*, 2007;18:768-775
25. **Chen Y.-J., Chang H.-H., Lin H.-Y., Lai E. H.-H., Hung H.-C., Yao C.-C. J.,** Stability of miniplates and miniscrews used for orthodontic anchorage : experience with 492 temporary anchorage devices, *Clin Oral Impl Res*, 2008;19:1188-1196

26. **Chen Y., Kyung H. M., Zhao W. T., Yu W. J.,** Critical factors for the success orthodontic mini-implants : a systematic review, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2009;135:284-91
27. **Cheng S.-J., Tseng I.-Y., Lee J.-J., Kok S.-H.,** A prospective study of the risk factors associated with failure of mini-implants used for orthodontic anchorage, *Int Oral Maxillofac Implants*, 2004;19:100-106
28. **Chillès J.-G., Riemenscheinder-Chillès S.,** Utilisation des mini-vis corticales courtes en orthodontie, *Orthod Fr*, 2011;82:253-268
29. **Cho Y.-M., Cha J.-Y., Hwang C.-J.,** The effect of rotation moment on the stability of immediately loaded orthodontic miniscrews : a pilot study, *Eur J Orthod*, 2010;32:614-619
30. **Codivilla A.,** On the means of lengthening in the lower limbs, the muscles and tissues which are shortened through deformity, *Am J Orthop Surg* 1905;2:353-369
31. **Cornelis M. A., Scheffler N. R., De Clerck H., Tulloch J. F. C., Nyssen-Behets C.,** Systematic review of the experimental use of temporary skeletal anchorage devices in orthodontics, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2007;131:00
32. **Costa A., Dalstra M., Melsen B.,** L'Aarhus Anchorage System, *Ortognotodonzia Italiana*, 2000;9:487-496
33. **Creekmore T.D., Eklund M.K.,** The possibility of skeletal anchorage, *J Clin Orthod* 1983;17:266-269
34. **Crismani A. G., Bertl M. H., Celar A. G., Bantleon H.-P., Burstone C. J.,** Miniscrews in orthodontic treatment : review and analysis of published clinical trials, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2010;137:108-13
35. **Dalessandri D., Salgarello S., Dalessandri M., Lazzaroni E., Piancino M., Paganelli C., Maiorana C., Santoro F.,** Determinants for success rates of temporary anchorage devices in orthodontics : a meta-analysis (n>50), *Eur J Orthod*, 2014;36:303-313
36. **Dammak S.,** mémoire DUO, Toulouse, 2014.
37. **Dao V., RenjenR., Prasad H. S., Rohrer M. D., MaganziniA. L., Kraut R. A.,** Cementum, pulp, periodontal ligament, and bone response after direct injury with orthodontic anchorage screws : a histomorphometric study in an animal model, *J Oral Maxillofac Surg*, 2009;67:2440-2445
38. **De Clerck H. J., Cornelis M. A., Cevidanes L. H., Heymann G. C., Tulloch J.F.,** Orthopedic traction of the maxilla with miniplates : a new perspective for treatment of midface deficiency, *J Oral Maxillofac Surg*, 2009;67:2123-2129

39. **Deguchi T., Nasu M., Murakami K., Yabuuchi T., Kamioka H., Takano-Yamamoto T.,** Quantitative evaluation of cortical bone thickness with computed tomographic scanned for orthodontic implants, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2006;129:721.e7-721.e12
40. **Dougherty H. L., Beazley W. W.,** A biodifferential system of face-bow mechanics, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1976;70(5):505-516
41. **El-Beialy A. R., Abou-El-Ezz A. M., Attia K. H., El-Beialy A. M., Mostafa Y. A.,** Loss of anchorage of miniscrews : a 3-dimensional assessment, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2009;136:700-7
42. **Eliades T., Zinelis S., Papadopoulos M. A., Eliades G.,** Characterization of retrieved orthodontic miniscrew implants, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2009;135:10.e1-10.e7
43. **Ellouze S., Darqué F.,** Mini-implants/L'orthodontie de demain, éd. Quintessence International, 2012;3-24
44. **Faure J.,** Biomécanique orthodontique, éd. EDP Sciences, 2011.
45. **Gainsforth, B. L., L. B. Higley,** A Study of Orthodontic Anchorage Possibilities in Basal Bone, *Am J Orthod Oral Surg*, 1945;31:406-17.
46. **Garfinkle J. S., Cunningham L. L., Beeman C. S., Kluemper G. T., Hicks E. P., Kim M.-O.,** Evaluation of orthodontic mini-implant anchorage in premolar extraction therapy in adolescents, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2008;133:642-53
47. **Geyselinck H., Lecocq G.,** Les auxilliaires d'ancrage vissés, *Orthod Fr*, 2009;80:27-28
48. **Gour C.,** Comparaison de minivis orthodontiques en acier inoxydable, titane pur et alliage de titane : essais mécaniques en flexion, torsion, torque, d'insertion et arrachement, 2011;Thèse d'Odontologie n°2011 LYO 1D048
49. **Gracco A., Cirignaco A., Cozzani M., Boccaccio A., Pappalettere C., Vitale G.,** Numerical/experimental analysis of the stress field around miniscrews for orthodontic anchorage, *Eur J Orthod*, 2009;31:12-20
50. **Gupta N., Kotrashetti S. M., Naik V.,** A comparative clinical study between self tapping and drill free screws as a source of rigid orthodontic anchorage, *J Maxillofac Oral Surg*, 2012;11(1):29-33
51. **Hamamci N., Kaya F. A., Uysal E., Yokus B.,** Identification of interleukin 2, 6, and 8 levels around miniscrews during orthodontic tooth movement, *Eur J Orthod*, 2012;34:357-361

52. **Holberg C., Winterhalder P., Rudzki-Janson, Wichelhaus A.**, Finite element analysis of mono- and bicortical mini-implant stability, *Eur J Orthod*, 2013;doi:10.1093/ejo/ctj023
53. **Huja S. S., Litsky A. S., Beck F. M., Johnson K. A., Larsen P. E.**, Pull-out strength of monocortical screws placed in the maxillae and mandibles of dogs, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2005;127:307-13
54. **Iijima M., Takano M., Yasuda Y., Muguruma T., Nagasaki S., Sakakuma Y., Ochi M., Mizoguchi I.**, Effect of the quantity and quality of cortical bone on the failure force of a miniscrew implant, *Eur J Orthod*, 2013;35(5):583-9
55. **Iijima M., Nagasaki S., Yasuda Y., Handa K., Koike T., Muguruma T., Saito T., Mizoguchi I.**, Effect of immediate loading on the biomechanical properties of bone surrounding the miniscrew implant, *Eur J Orthod*, 2013;35(5):577-82
56. **Intachai I., Krisanaprakornkit S., Kongtawelert P., Ong-Chai S., Buranastidporn B., Suzuki E. Y., Jotikasthira D.**, Chondroitin sulfate (WF6 epitope) levels in peri-miniscrew implant crevicular fluid during orthodontic loading, *Eur J Orthod*, 2010;32:60-65
57. **Janson G., Gigliotti M. P., Estelita S., Chiqueto K.**, Influence of miniscrew dental root proximity on its degree of late stability, *Int Oral Maxillofac Surg*, 2013;42:527-534
58. **Janssen K. I., Raghoobar G. M., Vissink A., Sandham A.**, Skeletal anchorage in orthodontics - A review of various systems in animal and human studies, *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2008;23:75-88
59. **Jarabak J. R.**, *Technique and treatment with the light wire appliances*. St. Louis, Mosby Ed;1963
60. **Jenner J. D., Fitzpatrick B. N.**, Skeletal Anchorage utilising bone plate, *Aust Orthod J*, 1985;9(2):231-3
61. **Jung Y.-R., Kim S.-C., Kang K.-H., Cho J.-H., Lee E.-H., Chang N.-Y., Chae J.-M.**, Placement angle effects on the success rate of orthodontic microimplants and other factors with cone-beam computed tomography, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2013;143:173-81
62. **Kanomi R.**, Mini-implant for orthodontic anchorage, *J Clin Orthod*, 1997;31(11):763-7
63. **Kim T.-W., Baek S.-H., Kim J.-W., Chang Y.-I.**, Effects of microgrooves on the success rate and soft tissue adaptation of orthodontic miniscrews, *Angle Orthod*, 2008;78:6

64. **Kim S.-H., Cho J.-H., Chung K.-R., Kook Y.-A., Nelson G.,** Removal torque values of surface-treated mini-implants after loading, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2008;134:36-43
65. **Kim S.-H., Choi J.-H., Chung K.-R., Nelson G.,** Do sand blasted with a large grit and acid etched surface treated mini-implants remain stationary under orthodontic forces ?, *Angle Orthod*, 2012;82:302-312
66. **Kim S.-H., Kang S.-M., Choi Y.-S., Kook Y.-A., Chung K.-R., Huang J. C.,** Cone-beam computed tomography evaluation of mini-implants after placement : is root proximity a major risk factor for failure ?, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2010;138:264-76
67. **Kim Y.-H., Yang S.-M., Kim S., Lee J. Y., Kim K. E., Gianelly A. A., Kyung S.-H.,** Midpalatal miniscrews for orthodontic anchorage : factors affecting clinical success, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2010;137:66-72
68. **Kim H.-J., Yun H.-S., Park H.-D., Kim D.-H., Park Y.-C.,** Soft tissue and cortical-bone thickness at orthodontic implant sites, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2006;130:177-82
69. **Kravitz N. D., Kusnoto B.,** Risks and complications of orthodontic miniscrews, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2007;131:00
70. **Kuroda S., Sugawara Y., Deguchi T., Kyung H.-M., Takano-Yamamoto T.,** Clinical use of miniscrew implants as orthodontic anchorage : success rates and postoperative discomfort, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2007;131:9-15
71. **Kuroda S., Tanaka E.,** Risks and complications of miniscrew anchorage in clinical orthodontics, *Japanese Dental Science Revue*, 2014;doi.org/10.1016/j.dsr.2014.05.001
72. **Kuroda S., Yamada K., Deguchi T., Hashimoto T., Kyung H.-M., Takano-Yamamoto T.,** Root proximity is a major factor for screw failure in orthodontic anchorage, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2007;131:00
73. **Langlade M.,** *Thérapeutique orthodontique*. Paris: Maloine 3e édition, 1986
74. **Laursen M. G., Melsen B., Cattaneo P. M.,** An evaluation of insertion sites for mini-implants – A micro-CT study of human autopsy material, *Angle Orthod*, 2013;83:222-229
75. **Lazaroo B., Tilotta F., Ernoult J.-F.,** *Les minivis – Ancrage osseux en omnipratique et en orthodontie*, éd. CDP, 2010
76. **Lee J.-Y.,** Molar distalization by using vertically installed mini-screws, *Orthod Fr*, 2012;83:257-266

77. **Lee S.-J., Ahn S.-J., Lee J.-W., Kim S.-H., Kim T.-K.,** Survival analysis of orthodontic mini-implants, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2010;137:194-9
78. **Lee Y.-K., Kim J.-W., Baek S.-H., Kim T.-W., Chang Y.-I.,** Root and bone response to the proximity of a mini-implant under orthodontic loading, *Angle Orthod*, 2010;80:452-458
79. **Lee J., Kim J. Y., Choi Y. J., Kim K.-H., Chung C. J.,** Effects of placement angle and direction of orthopedic force application on the stability of orthodontic miniscrews, *Angle Orthod*, 2013;83:667-673
80. **Lee S.-L., Kim J.-K., Park Y.-C., Vanarsdall R. L.,** Applications cliniques des mini-implants en orthodontie, éd. Quintessence International, 2010
81. **Le Gall M.,** L'ancrage : les minivis. In : Canal P., Salvadori S., *Orthodontie de l'adulte*, éd. Masson, 2008:73-104
82. **Le Gall M., Matossian L., Filippi R.,** La minivix Ancora® en acier chirurgical M25. In : Bassigny F., Chillès D., Chillès J.-G., Dumoulin B., Filippi R., Le Gall M., Matossian L., Thébault B., Watcher L., *Nouvelles conceptions de l'ancrage en orthodontie*, éd. CDP, 2013 ;57-59
83. **Leung M. T. C., Rabie A. B. M., Wong R. W. K.,** Stability of connected mini-implants and mini-plates for skeletal anchorage in orthodontics, *Eur J Orthod*, 2008;30:483-489
84. **Li D., Ferguson S. J., Beutler T., Cochran D. L., Sittig C., Hirt H. P., Buser D.,** Biomechanical comparison of the sandblasted and acid-etched and the machined and acid-etched titanium surface for dental implants, *Inc J Biomed Mater Res*, 2002;60:325-332
85. **Lim S.-A., Cha J.-Y., Hwang C.-J.,** Insertion torque of orthodontic miniscrews according to changes in shape, diameter and length, *Angle Orthod*, 2008;78:2
86. **Lim H.-J., Choi Y.-J., Evans C. A., Hwang H.-S.,** Predictors of initial stability of orthodontic miniscrew implants, *Eur J Orthod*, 2011;33:528-532
87. **Lim H.-J., Eun C.-S., Cho J.-H., Lee K.-H., Hwang H.-S.,** Factors associated with initial stability of miniscrews for orthodontic treatment, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2009;136:236-452
88. **Lin T.-S., Tsai F.-D., Chen C.-Y., Lin L.-W.,** Factorial analysis of variables affecting bone stress adjacent to the orthodontic anchorage mini-implant with finite element analysis, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2013;143:182-9
89. **Linkow L. I.,** Implant-orthodontics, *J Clin Orthod*, 1970;4:685-690

90. **Liou E. J. W., Pai B. C. J., Lin J. C. Y.,** Do miniscrews remain stationary under orthodontic forces ?, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2004;126:42-7
91. **Liu T.-C., Chang C.-H., Wong T.-Y., Liu J.-K.,** Finite element analysis of miniscrew implants used for orthodontic anchorage, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2012;141:468-76
92. **Liu S. S.-Y., Kyung H.-M., Bushang P. H.,** Continuous forces are more effective than intermittent forces in expanding sutures, *Eur J Orthod*, 2010;32:371-380
93. **Liu H., Lv T., Wang N.-n, Zhao F., Wang K.-t, Liu D.-x,** Drift characteristics of miniscrews and molars for anchorage under orthodontic force : 3-dimensional computed tomography registration evaluation, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2011;139:e83-e89
94. **Ludwig B., Glasl B., Kinzinger G. S. M., Lietz T., Lisson J. A.,** Anatomical guidelines for miniscrew insertion : vestibular interradicular sites, *J Clin Orthod*, 2011;45:3
95. **Luzi C, Verna C., Melsen B.,** Immediate loading of orthodontic mini-implants : a histomorphometric evaluation of tissue reaction, *Eur J Orthod*, 2009;31:21-29
96. **Maino B. G., Weiland F., Attanasi A., Zachrisson B. U., Buyukyilmaz T.,** Root damage and repair after contact with miniscrews, *J Clin Orthod*, 2007;41:12
97. **Manni A., Cozzani M., Tamborrino F., De Rinaldis S., Menini A.,** Factors influencing the stability of miniscrews. A retrospective study on 300 miniscrews, *Eur J Orthod*, 2011;33:388-395
98. **Marquezan M., Lima I., Tadeu Lopes R., Sant'Anna E. F., Gomes de Souza M. M.,** Is trabecular bone related to primary stability of miniscrews ?, *Angle Orthod*, 2014;84:500-507
99. **Marquezan M., Mattos C. T., Sant'Anna E. F., Gomes de Souza M. M., Cople Maia L.,** Does cortical thickness influence the primary stability of miniscrews ?, A systematic review and meta-analysis, *Angle Orthod*, 2014, doi:10.2319/093013-716.1
100. **Massif L., Frappier L., Micallef J.-P.,** Mise en place des mini-vis : avec ou sans avant-trou ?, *Orthod Fr*, 2007;78:123-132
101. **Massif L., Frappier L.,** Utilisation Clinique des minivis en orthodontie, *EMC Odontol/ODF*, 23-492-A-17, 2006
102. **Matossian, L., R. Filippi, et M. Le Gall.,** Utilisation raisonnée d'un système d'ancrage temporaire en orthodontie-La vis Ancora, en acier chirurgical M25. *L'Orthodontie Biogressive*, Décembre 2008:5-14

103. **McMannus M. M., Qian F., Grosland N. M., Marshall S. D., Southard T. E.**, Effect of miniscrew placement torque on resistance to miniscrew movement under load, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2011;140:e93-e98
104. **Meira T. M., Tanaka O.-M., Ronsani M. M., Maruo I.-T., Guariza-Filho O., Camargo E. S., Maruo H.**, Insertion torque, pull-out strength and cortical bone thickness in contact with orthodontic mini-implants at different insertion angles, *Eur J Orthod*, 2013;35(6):766-61
105. **Melsen B., Costa A.**, Immediate loading of implants used for orthodontic anchorage, *Clin Orthod Res*, 2000;3:23-28
106. **Melsen B.**, Miniscrew loosening, *J Clin Orthod*, 2011;45:6
107. **Melsen B., Lang N. P.**, Biological reactions of alveolar bone to orthodontic loading of oral implants, *Clin Oral Impl Res*, 2001;12:144-152
108. **Melsen B., Peterson J.K., Costa A.**, Zygoma ligatures : an alternative form of maxillary anchorage, *J Clin Orthod*, 1998;32:154-158
109. **Migliorati M., Benedicenti S., Signori A., Drago S., Barberis F., Tournier H., Silvestrini-Biavati A.**, Miniscrew design and bone characteristics : an experimental study of primary stability, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2012;142:228-34
110. **Migliorati M., Signori A, Silvestrini-Biavati A.**, Temporary anchorage device stability : an evaluation of thread shape factor, *Eur J Orthod*, 2012;34:582-586
111. **Mimura H.**, Protraction of mandibular second and third molars assisted by partial corticision and miniscrew anchorage, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2013;144:278-89
112. **Min K.-I., Kim S.-C., Kang K.-H., Cho J.-H., Lee E.-H., Chang N.-Y., Chae J.-M.**, Root proximity and cortical bone thickness effects on the success rate of orthodontic micro-implants using cone-beam computed tomography, *Angle Orthod*, 2012;82:1014-1021
113. **Mischkowski R. A., Kneuert P., Florvaag B., Lazar F., Koebke J., Zöller J. E.**, Biomechanical comparison of four different miniscrew types for skeletal anchorage in the mandibulo-maxillary area, *Int J Oral Maxillof Surg*, 2008;37:948-954
114. **Miyamoto I., Tsuboi Y., Wada E., Suwa H., Iizuka T.**, Influence of cortical bone thickness and implant length on implant stability at the time of surgery – Clinical, prospective, biomechanical, and imaging study, *Bone*, 2005;37:776-780
115. **Miyawaki S., Koyama I., Inoue M., Mishima K., Sugihara T., Takano-Yamamoto T.**, Factors associated with the stability of titanium screws placed in the posterior region for orthodontic anchorage, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2003;124:373-8

116. **Miyazawa K., Kawaguchi M., Tabuchi M., Goto S.,** Accurate pre-surgical determination for self-drilling miniscrew implant using surgical guides and cone-beam computed tomography, *Eur J Orthod*, 2010;32:735-740
117. **Moon C.-H., Lee D.-G., Lee H.-S., Im J.-S., Baek S.-H.,** Factors associated with the success rate of orthodontic miniscrews placed in the upper and lower posterior buccal region, *Angle Orthod*, 2008;78:1
118. **Moon C.-H., Park H.-K., Nam J.-S., Im J.-S., Baek S.-H.,** Relationship between vertical skeletal pattern and success rate of orthodontic mini-implants, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2010;138:51-7
119. **Morarend C., Qian F., Marshall S. D., Southard K. A., Grosland N. M., Morgan T. A., McMannus M., Southard T. E.,** Effect of screw diameter on orthodontic skeletal anchorage, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2009;136:224-9
120. **Motoyoshi M., Matsuoka M., Shimizu N.,** Application of orthodontic mini-implants in adolescents, *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2007;36:695-699
121. **Motoyoshi M., Yoshida T., Ono A., Shimizu N.,** Effect of cortical bone thickness and implant placement torque on stability of orthodontic mini-implants, *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2007;22:779-784
122. **Motoyoshi M., Inaba M., Ono A., Ueno S., Shimizu N.,** The effect of cortical bone thickness on the stability of orthodontic mini-implants and on the stress distribution in surrounding bone, *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2009;38:13-18
123. **Motoyoshi M., Inaba M., Ueno S., Shimizu N.,** Mechanical anisotropy of orthodontic mini-implants, *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2009;38:972-977
124. **Motoyoshi M., Ueno S., Okazaki N., Shimizu N.,** Bone stress for a mini-implant close to the roots of adjacent teeth – 3D finite element analysis, *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2009;38:363-368
125. **Motoyoshi M., Uemura M., Ono A., Okazaki N., Shigeeda T., Shimizu N.,** Factors affecting the long-term stability of orthodontic mini-implants, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2010;137:588.e1-588.e5
126. **Muguruma T., Iijima M., Brantley W. A., Yuasa T., Ohno H., Mizugochi I.,** Relationship between the metallurgical structure of experimental titanium miniscrew implants and their torsional properties, *Eur J Orthod*, 2011;33:293-297
127. **Nabbout F., Faure J., Baron P., Braga J., Treil J.,** Centres de résistance des groupes dentaires et mécanique orthodontique. *Intern Orthod*, Décembre 2007;5(4):437–446

128. **Nabbout F., Faure J., Baron P., Braga J., Treil J.,** L'ancrage dentaire en orthodontie : les données du scanner. *Intern Orthod*, Septembre 2004; 2(3):241–256
129. **Nakagaki S., Iijima M., Handa K., Koike T., Yasuda Y., Saito T., Mizugochi I.,** Micro-CT and histologic analyses of bone surrounding immediately loaded miniscrew implants : comparing compression and tension loading, *Dent Mater J*, 2014;33(2):196-202
130. **Nefussi J.R., Valet N., Lejoyeux E., Flageul F.,** L'entité fonctionnelle odontologique au cours du déplacement orthodontique. *Orthopedie dento-faciale, une approche bioprogressive*. Quintessence International, 1999
131. **Niekemper M., Wilmes B., Renger S., Mazaud-Schmelter M., Drescher D.,** Amélioration de la stabilité des mini-implants orthodontiques, *Orthod Fr*, 2012;83:201-207
132. **Papadopoulos M. A., Papageorgiou S. N., Zogakis I. P.,** Clinical effectiveness of orthodontic miniscrew implants : a meta-analysis, *J Dent Res*, 2011;90(8):969-976
133. **Papageorgiou S. N., Zogakis I. P., Papadopoulos M. A.,** Failure rates and associated risk factors of orthodontic miniscrew implants : a meta-analysis, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2012;142:577-95
134. **Park H.-S., Jeong S.-H., Kwon O.-W.,** Factors affecting the clinical success of screw implants used as orthodontic anchorage, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2006;130:18-25
135. **Park K.-H., Lee E.-M., Shin S.-i., Kim S.-H., Park Y.-G., Kim S.-J.,** Evaluation of the effect of force direction on stationary anchorage success of mini-implant with a lever-arm-shaped upper structure, *Angle Orthod*, 2011;81:776-782
136. **Pongsamart P., Luppapanornlarp S., Pornprsertsuk-Damrongsri S., Boonpratham S., Santiwong P.,** Stability of miniscrews with different continuous orthodontic forces as measured by cone-beam computed tomography, *Orthod Waves*, 2014;73:48-54
137. **Pujol P.,** Le traitement orthodontique de la classe II dentaire avec minivis : une alternative à l'extraction des deuxième molaires maxillaires, *Rev Orthop Dento Faciale*, 2013;47:101-116
138. **Reynders R., Ronchi L., Bipat S.,** Mini-implants in orthodontics : a systematic review of the literature, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2009;135:564.e1-564.e19
139. **Reynders R. A. M., Ronchi L., Ladu L., van Etten-Jamaludin F., Bipat S.,** Insertion torque and success of orthodontic mini-implants : a systematic review, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2012;142:596-614

140. **Ricketts R.M.**, Bioprogressive therapy as an answer to orthodontics needs. Part II., A.J.O, 1976;70:359-397
141. **Ricketts R.M., Gugino C.F., Bench R.W.**, Bioprogressive therapy, Denver : Rocky Mountain;1980.
142. **Ritto A. K.**, Resorbable screws for orthodontic anchorage, 2005;orthocj.com/2005/10/resorbable-screws-for-orthodontic-anchorage/
143. **Roberts W.E., Marshall J.K., Mozsary P.G.**, Rigid endosseus implant utilized as anchorage to protract molars and close an atrophic extraction site, Angle Orthod, 1990;60:135-152
144. **Root T.L.** (J. Edgewise – 1980)
145. **Santiago R. C., de Paula F. O., Fraga M. R., Souza Picorelli Assis N. M., Willer Farinazzo Vitral R.**, Correlation between miniscrew stability and bone mineral density in orthodontic patients, Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009;136:243-50
146. **Sarul M., Minch L., Park H.-S., Antoszewska-Smith J.**, Effect of the length of orthodontic miniscrew implants on their long-term stability, Angle Orthod, 2014, doi:10.2319/112113-857.1
147. **Schätzle M., Männchen R., Zwahlen M., Lang N. P.**, Survival and failure rates of orthodontic temporary anchorage devices : a systematic review, Clin Oral Impl Res, 2009;20:1351-1359
148. **Scholtz R. P., Baumgaertel S.**, State of art of miniscrew implants : an interview with Sebastian Baumgaertel, Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009;136:277-81
149. **Sebaoun J.-D., Surmenian J., Dibart S.**, Traitements orthodontiques accélérés par piézocision : une alternative mini-invasive aux corticotomies alvéolaires, Orthod Fr, 2011;82:311-319
150. **Sebbar M., Bourzgui F., Badre L., El Quars F.**, Minivis d'ancrage : etude histologiques des tissus mous péri-implantaires, Int Orthod, 2012;10:85-95
151. **Sebbar M., Bourzgui F., Lazrak L., Aazzab B., El Quars F.**, Comparaison microscopique de la surface des minivis utilises en orthodontie : avant et après usage, Rev Stomatol Chir Maxillofac, 2012;113:365-369
152. **Serra G., Morais L. S., Elias C. N., Meyers M. A., Andrade L., Muller C., Muller M.**, Sequential bone healing of immediately loaded mini-implants, Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2008;134:44-52
153. **Shah A. H., Behrents R. G., Kim K. B., Kyung H.-M., Bushang P. H.**, Effects of screws and host factors on insertion torque and pullout strength, Angle Orthod, 2012;82:603-610

154. **Sharma P., Valiathan A., Sivakumar A.,** Success rate of microimplants in a university orthodontic clinic, *Int Schol Res Net*, 2011;doi:10.5402/2011/982671
155. **Shermann A.J.,** Bone reaction to orthodontic forces on vitreous carbone dental implants, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1978;74(1):79-87
156. **Singh S., Mogra S., Shetty V. S., Shetty S., Philip P.,** Three-dimensional finite element analysis of strength, stability, and stress distribution in orthodontic anchorage : a conical, self-drilling miniscrew implant system, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2012;141:327-36
157. **Skeggs R. M., Benson P. E., Dyer F.,** Reinforcement of anchorage during orthodontic brace treatment with implants or other surgical methods, *Cochrane Collaboration*, 2008(4)
158. **Son S., Motoyoshi M., Uchida Y., Shimizu N.,** Comparative study of the primary stability of self-drilling and self-tapping orthodontic miniscrews, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2014;145:480-5
159. **Sugawara J.,** Dr Junji Sugawara on the skeletal anchorage system, *J Clin Orthod*, 1999;33(12)
160. **Sugawara J., Bong Baik U., Umemori M., Takahashi I., Nagasaka H., Kawamura H., Mitani H.,** Treatment and posttreatment dentoalveolar changes following intrusion of manbibular molars with application of a skeletal anchorage system (SAS) for open bite correction, *Int J Adult Orthod Orthognath Surg*, 2002;17:243-253
161. **Sugawara J., Nishimura M.,** Minibone plates, *Semin Orthod*, 2005;11:47-56
162. **Sung J.-H., Kyung H.-M., Bae S.-M., Park H.-S., Kwon O.-W., McNamara J. A.,** Microimplants in orthodontics, éd. *Dentos*, 2006;7-14
163. **Suzuki E. Y., Suzuki B., Aramrattana A., Harnsiriwattanakit K., Kowanich N.,** Assessment of miniscrew implant stability by resonance frequency analysis : a study in human cadavers, *J Oral Maxillofac Surg*, 2010;68:2682-2689
164. **Suzuki M., Deguchi T., Watanabe H., Seiryu M., Likubo M., Sasano T., Fujiyama K., Takano-Yamamoto T.,** Evaluation of optimal length and insertion torque for miniscrews, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2013;144:251-9
165. **Takaki T., Tamura N., Yamamoto M., Takano N., Shibahara T., Yasumura T., Nishii Y., Sueishi K.,** Clinical study of temporary anchorage devices for orthodontic treatment – Stability of micro/miniscrews and mini-plates : experience with 455 cases, *Bull Tokyo Dent Coll*, 2010;51(3):151-163

166. **Tezel A, Orbak R, Canakci V.**, The effect of right or left- handedness on oral hygiene. *Int J Neurosci* 2001;109:1-9
167. **Tilotta F., Lazaroo B., Gaudy J.-F.**, Gestion des risques anatomiques lies à la mise en place de minivis palatines, *Int Orthod*, 2008;6:169-179
168. **Topouzelis N., Tsaousoglou P.**, Clinical factors correlated with the success rate of miniscrews in orthodontic treatment, *Int J Oral Science*, 2012;4:38-44
169. **Tseng Y.C., Hsieh C.H., Chen C.H., Shen Y.S., Huang I.Y., Chen C.M.**, The application of mini-implants for orthodontic anchorage. *Int J Oral Maxillofac Surg*,2006;35:704-707
170. **Tsui W. K., Chua H. D. P., Cheung L. K.**, Bone anchor systems for orthodontic application : a systematic review, *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2012;41:1427-1438
171. **Türköz C., Sancar Ataç M., Tuncer C., Balos Tuncer B., Kaan E.**, The effect of drill-free and drilling methods on the stability of mini-implants under early orthodontic loading in adolescent patients, *Eur J Orthod*, 2011;33:533-536
172. **Turley P. K., Kean C., Schur J.**, Orthodontic force application to titanium endosseous implants, *Angle Orthod*, 1988;58:151-152
173. **Tweed C.H.**, *Clinical Orthodontic*. Mosby, 1966
174. **Uemura M., Motoyoshi M., Yano S., Sakaguchi M., Igarashi Y., Shimizu N.**, Orthodontic mini-implant stability and the ratio of pilot hole implant diameter, *Eur J Orthod*, 2012;34:52-56
175. **Umemori M., Sugawara J., Mitani H., Nagasaka H., Kawamura H.**, Skeletal anchorage system for open-bite correction, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1999;115:166-74
176. **Ure D. S., Oliver D. R., Kim K. B., Melo A. C., Bushang P. H.**, Stability changes of miniscrew implants over time – A pilot resonance frequency analysis, *Angle Orthod*, 2011;81:994-1000
177. **Veltri M., Balleri B., Goracci C., Giorgetti R., Balleri P., Ferrari M.**, Soft bone primary stability of 3 different miniscrews for orthodontic anchorage : a resonancefrequency investigation, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2009;135:642-8
178. **Viwattanatipa N., Thanakitcharu S., Uttraravichien A., Pitiphat W.**, Survival analyses of surgical miniscrews as orthodontic anchorage, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2009;136:29-36

179. **Wang Y.-C., Liou E. J. W.,** Comparison of the loading behaviour of self-drilling and predrilled miniscrews throughout orthodontic loading, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2008;133:38-43
180. **Wang Z., Zhao Z., Xue J., Song J., Deng F., Yang P.,** Pullout strength of miniscrews placed in anterior mandibles of adult and adolescent dogs : a microcomputed tomographic analysis, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2010;137:100-7
181. **Watanabe H., Deguchi T., Hasegawa M., Ito M., Kim S., Takano-Yamamoto T.,** Orthodontic miniscrew failure rate and root proximity, insertion angle, bone contact length, and bone density, *Orthod Craniofac Res*, 2013;16:44-55
182. **Wehrbein H., Metz B., Diedrich P., Glatzmaier J.,** The use of palatal implants or orthodontic anchorage. Design and clinical applications of the orthosystem, *Clin Oral Implants Res*, 1996;7:410-416
183. **Wei X., Zhao L., Xu Z., Tang T., Zhao Z.,** Effects of cortical bone thickness at different healing times on miniscrew stability, *Angle Orthod*, 2011;81:760-766
184. **Whang C. Z. Y., Bister D., Sherriff M.,** An in vitro investigation of peak insertion torque values of six commercially available mini-implants, *Eur J Orthod*, 2011;33:660-666
185. **Wiechmann D., Meyer U., Bütcher A.,** Success rate of mini- and micro-implants used for orthodontic anchorage : a prospective clinical study, *Clin Oral Impl Res*, 2007;18:263-267
186. **Wilmes B., Drescher D.,** Impact of bone quality, implant type, and implantation site preparation on insertion torques of mini-implants used for orthodontic anchorage, *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2011;40:697-703
187. **Wilmes B., Nienkemper M., Ludwig B., Nanda R., Drescher D.,** Upper-Molar Intrusion Using Anterior Palatal Anchorage and the Mousetrap Appliance, *J Clin Orthod*, 2013;314-320
188. **Wilmes B., Panayotidis A., Drescher D.,** Fracture resistance of orthodontique mini-implants : a biomechanical in vitro study, *Eur J Orthod*, 2011;3:396-401
189. **Woodall N., Tadepalli S. C., Qian F., Grosland N. M., Marshall S. D., Southard T. E.,** Effect of miniscrew angulation on anchorage resistance, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2011;139:e147-e152
190. **Woods P. W., Buschang P. H., Owens S. E., Rossouw P. E., Opperman L. A.,** The effect of force, timing, and location on bone-to-implant contact of miniscrew implants, *Eur J Orthod*, 2009;31:232-240

191. **Wu J.-c, Huang J.-n, Zhao S.-f**, Bicortical microimplant with 2 anchorage heads for mesial movement of posterior tooth in the beagle dog, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2007;132:353-9
192. **Wu T.-Y., Kuang S.-H., Wu C.-H.**, Factors associated with the stability of mini-implants for orthodontic anchorage : a study of 414 samples in Taiwan, *J Oral Maxillofac Surg*, 2009;667:1595-1599
193. **Youn J.-W., Cha J.-Y., Yu H.-S., Hwang C.-J.**, Biologic evaluation of a hollow-type miniscrew implant ; an experimental study in beagles, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2014;145:626-37
194. **Yoo S.-H., Park Y.-C., Hwang C.-J., Kim J.-Y., Choi E.-H., Cha J.-Y.**, A comparison of tapered and cylindrical miniscrew stability, *Eur J Orthod*, 2013;doi:10.1093/ejo/ctj092

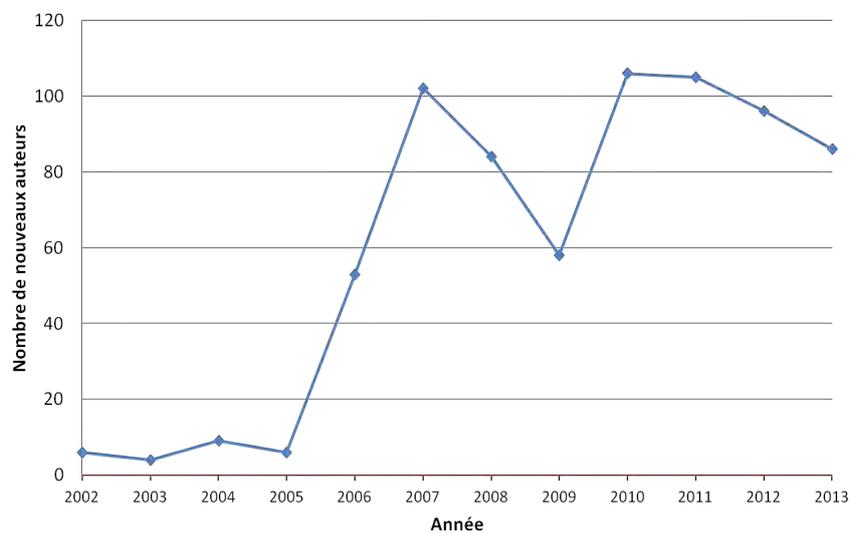
TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: 3ème principe de Newton, Massif L., Frappier L. (101)	2
Figure 2: surfaces radiculaires moyennes selon Freeman, valeurs d'ancrage de Jarabak. 4	
- Figure 3: renfort d'ancrage, solidarisation par ligature en 8, Massif L., Frappier L. (101)	6
Figure 4: corticotomie vestibulaire, Sebaoun et al. (149)	7
Figure 5: ancrage supra implantaire, http://www.deardoc.com/articles/dental-implants/page3.php	8
Figure 6: implant rétromolaire, Roberts et al. (143).....	9
Figure 7: implant palatin et dispositif Beneslider®, Wilmes et al. (187).....	9
Figure 8, Figure 9: ligatures métalliques zygomatiques, Melsen et al. (108)	9
Figure 10: mini-plaques d'ancrage, Sugawara et al. (161).....	9
Figure 11, Figure 12: ancrages de Bollard selon De Clerck et al. (38).....	10
Figure 13: évolution du nombre d'articles sur les mini-vis et les mini-plaques selon Dammak Sahbi (36).....	11
Figure 14: mini-vis Ancotek® Tekka®	13
Figure 17: rétraction antérieure, Massif L., Frappier L. (101)	16
Figure 18: correction mésioversion molaire, Massif L., Frappier L. (101)	16
Figure 15: correction exoalvéolie, Lazaroo et al. (75)	16
Figure 16: ingression molaire, Lazaroo et al. (75)	16
Figure 19: zones de sécurité en violet, Lee et al. (80).....	18
Figure 20: guide chirurgical, Janson et al. (57)	19
Figure 21: guide chirurgical, Miyazawa et al. (116)	19
Figure 22: guide chirurgical, Costa et al. (32).....	19
Figure 23: guide chirurgical, Pongsamart et al. (162).....	19
Figure 24: lésions radiculaires Miyazawa et al. (116).....	21
Figure 25: analyse de la typologie verticale par Moon et al. (118)	33
Figure 26: cartographie de l'EIR	Figure 27: cartographie de l'épaisseur
alvéolaire	39
Figure 28: mini-vis courtes selon Chillès et Riemenscheider-Chillès (28).....	43
Figure 29: bras de levier selon Chillès et Riemenscheider-Chillès (28)	43
Figure 30: répartition des contraintes selon la profondeur du filetage par Chang et al. (19)	49
.....	49
Figure 31: répartition des contraintes selon la conicité par Chang et al. (19)	49
Figure 32: charge horizontale et flexion selon Singh et al. (156)	50
Figure 33: perforation cervicale selon Youn et al. (193).....	50
Figure 34: classification de la proximité radiculaire selon Kuroda et al. (32).....	61
Figure 35: charge horaire selon Park et al. (135)	66
Figure 36: kit Ancotek® Tekka®.....	76
Figure 37: mini-vis OVE « écrou » Ancotek® Tekka®.....	76
Figure 38: pertes selon la localisation	84
Figure 39: pertes selon le maxillaire receveur	85
Figure 40: pertes selon les complications chirurgicales	88
Figure 41: indications de pose.....	88
Figure 42: pertes selon l'hygiène.....	89

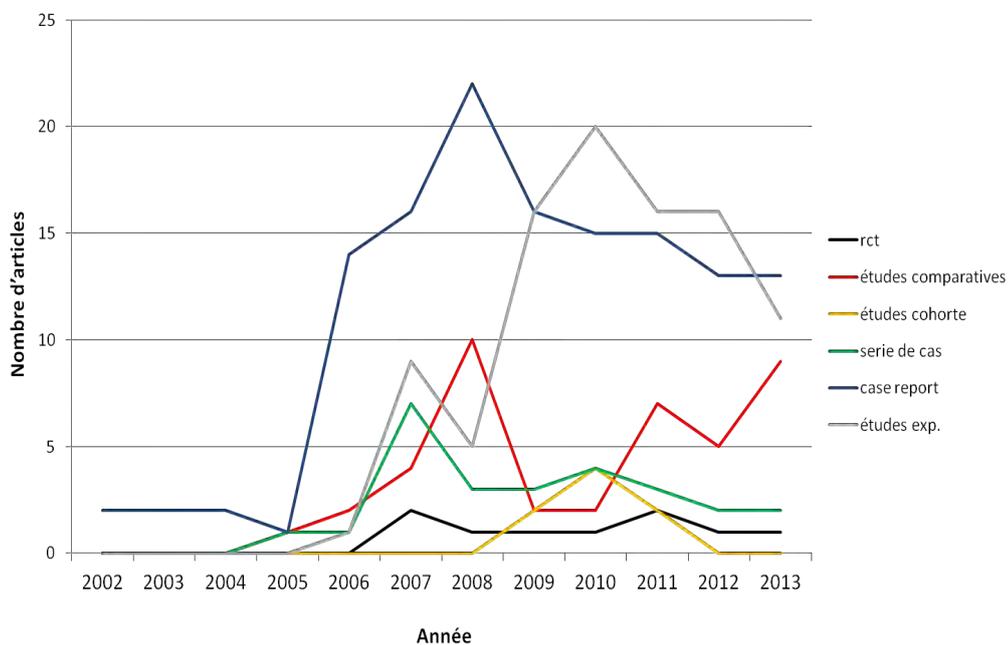
Tableau 1: volumes radiculaires et coefficients d'ancrage (127, 128)	4
Tableau 2: publications retenues par la méta-analyse de Dalessandri et al. (35)	28
Tableau 3: classification du type de lien et de force donnant le type de mécanique	80
Tableau 4: Résultats bruts par variable	82

ANNEXES

Annexe 1 : évolution du nombre de nouveaux auteurs selon Dammak S. (36)

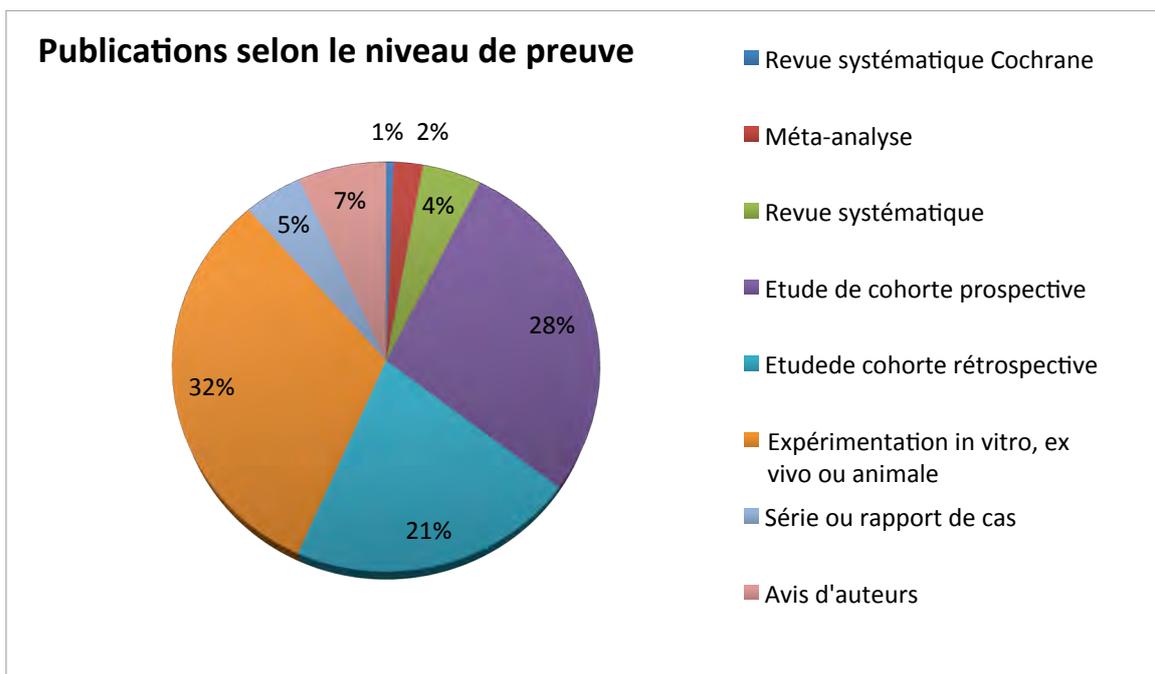


Annexe 2 : évolution du niveau de preuve des publications selon Dammak S. (36)

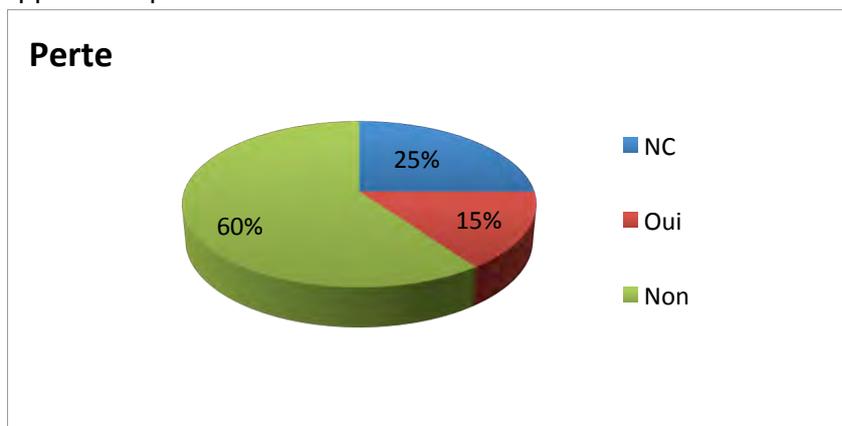


Évolution du niveau de preuve des publications

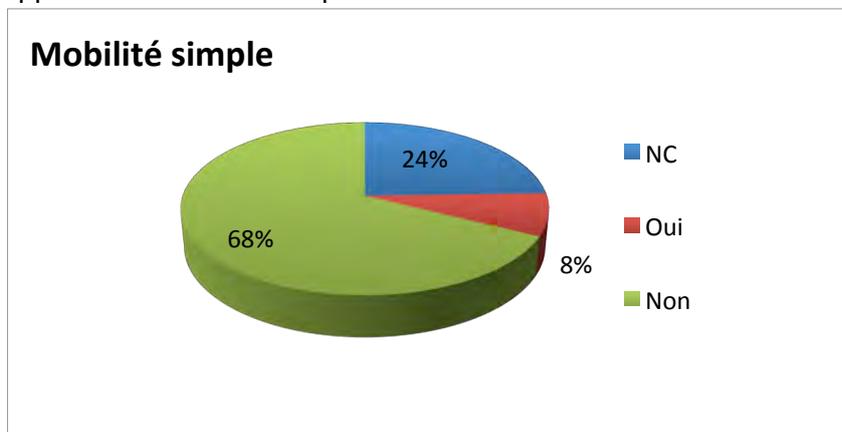
Annexe 3 : répartition du niveau de preuve des publications de notre analyse de la littérature.



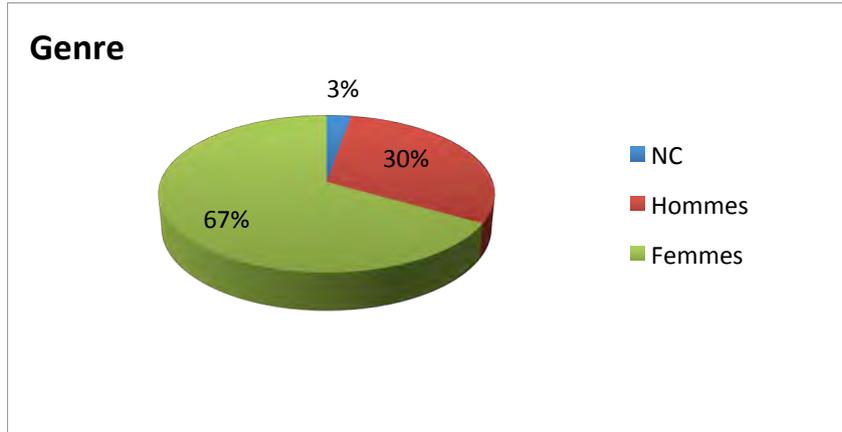
Annexe 4 : rapport des pertes



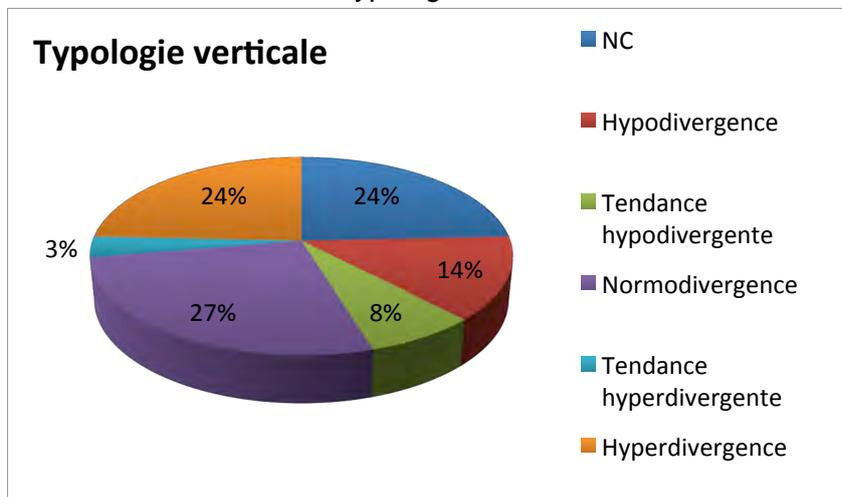
Annexe 5 : rapport de la mobilité simple



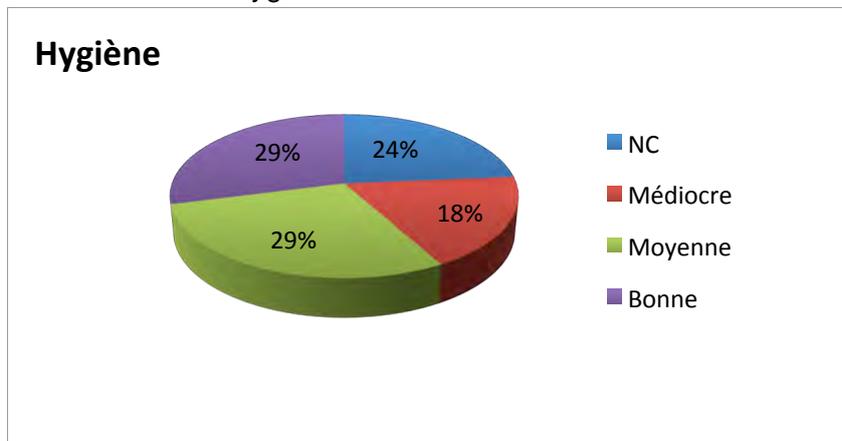
Annexe 6 : mini-vis de l'étude selon le genre



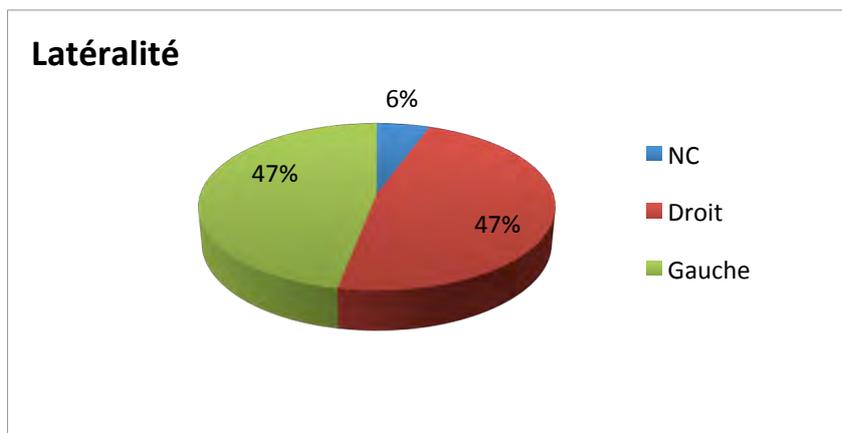
Annexe 7 : mini-vis de l'étude selon la typologie verticale



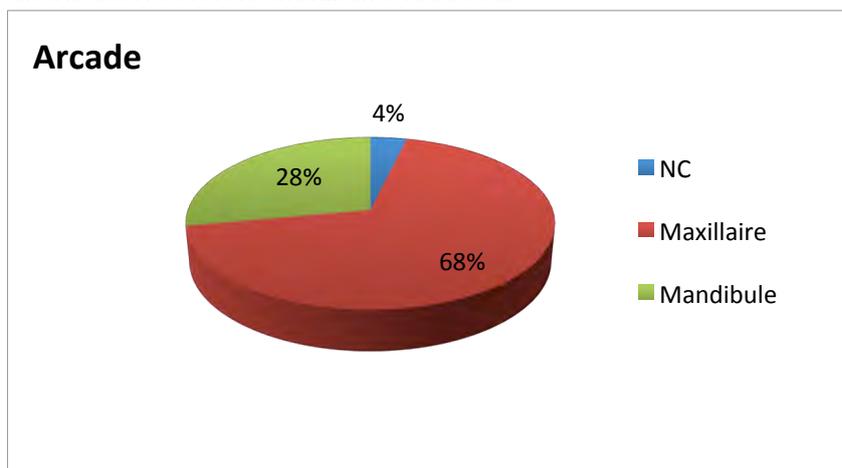
Annexe 8 : distribution selon l'hygiène



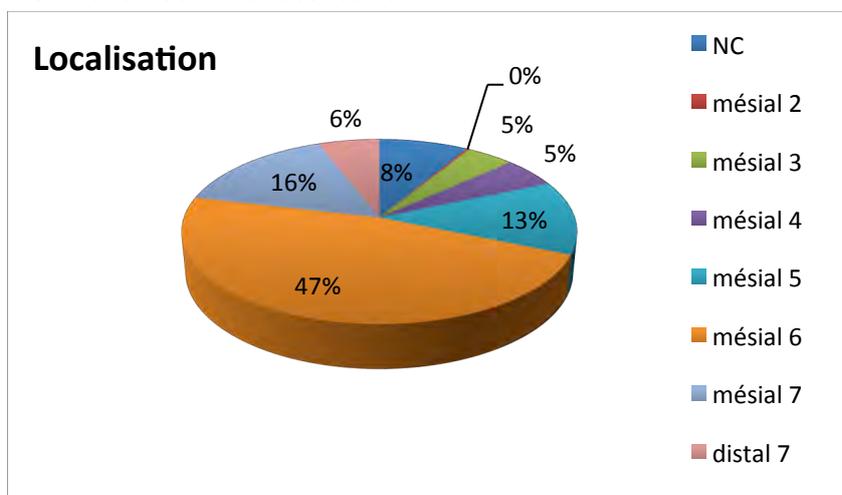
Annexe 9 : distribution selon la latéralité



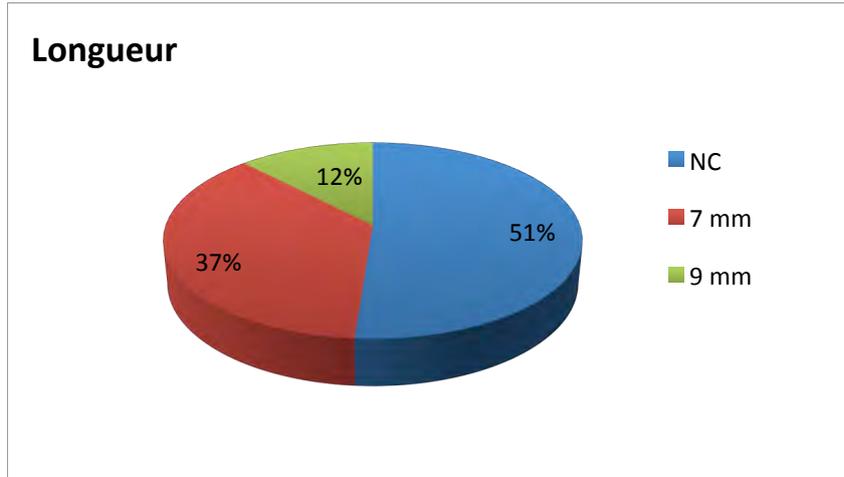
Annexe 10 : distribution selon le maxillaire receveur



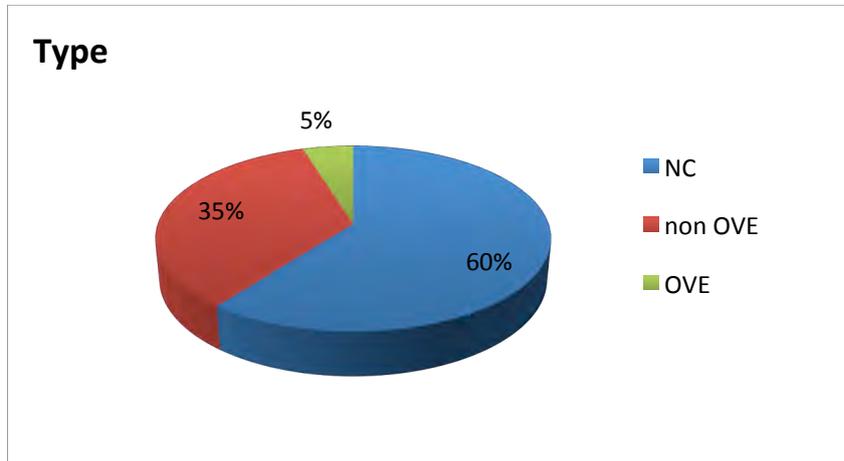
Annexe 11 : distribution selon la localisation



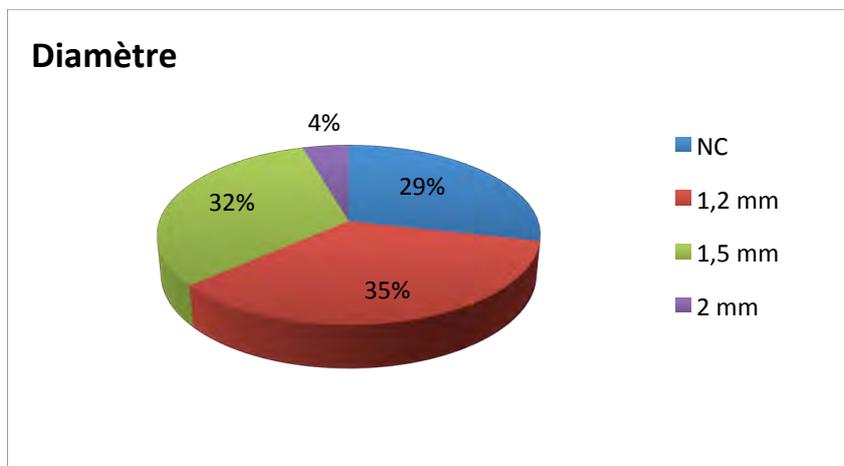
Annexe 12 : distribution selon la longueur



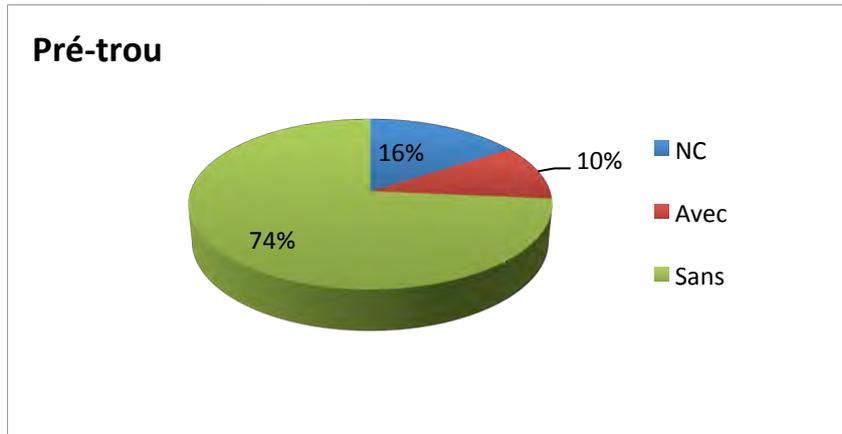
Annexe 13 : distribution selon le type



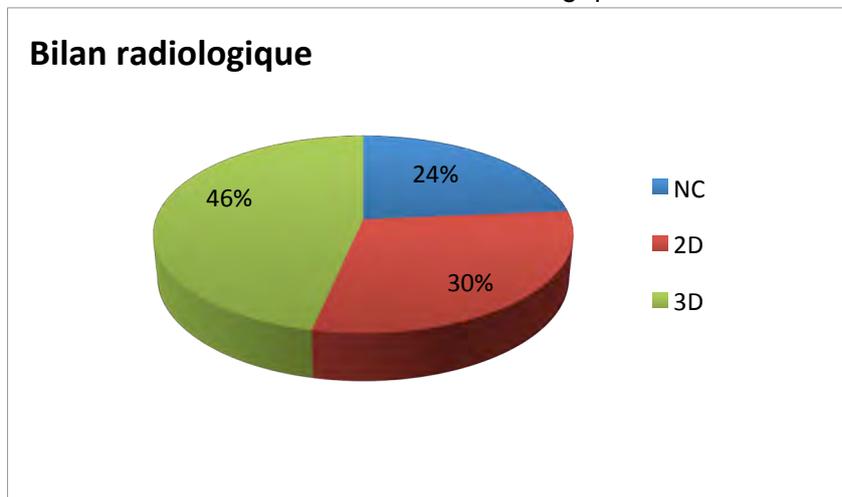
Annexe 14 : distribution selon le diamètre



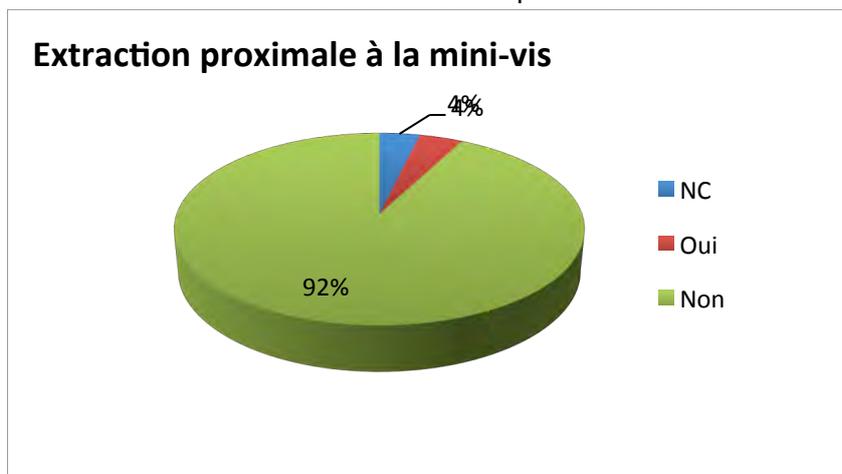
Annexe 15 : distribution selon le préforage



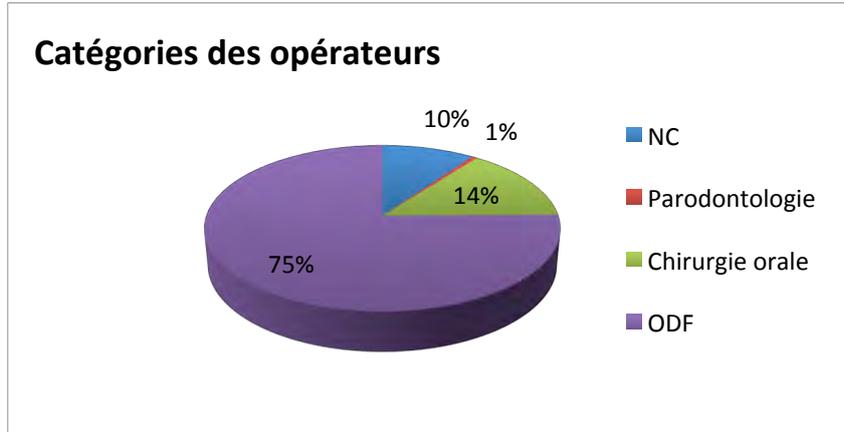
Annexe 16 : distribution selon la nature du bilan radiologique



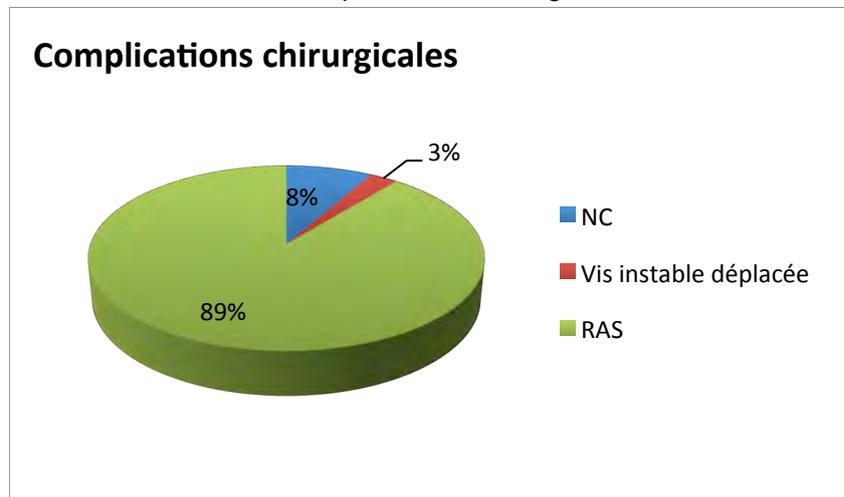
Annexe 17 : distribution selon éventuelle extraction proximale associée



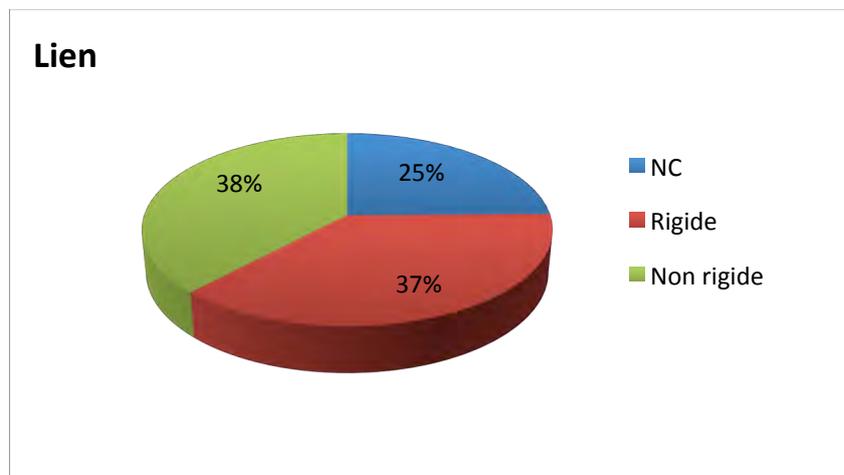
Annexe 18 : distribution selon la catégorie de l'opérateur



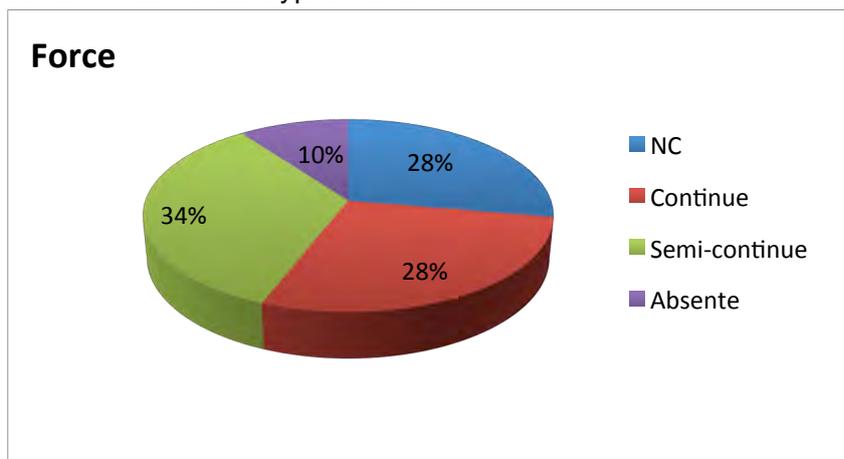
Annexe 19 : distribution selon les complications chirurgicales



Annexe 20 : distribution selon la nature du lien



Annexe 21 : distribution selon le type de force



**CONTRIBUTION A L'ETUDE DU TAUX D'ECHEC DES MINI-VIS D'ANCRAGE
ORTHODONTIQUE ET RECHERCHE DES FACTEURS DE RISQUE :
ANALYSE CLINIQUE RETROSPECTIVE**

RESUME EN FRANÇAIS :

Les mini-vis d'ancrage orthodontique présentent des taux de réussite élevés mais, bien que largement utilisées, l'échec reste mal expliqué. Selon la littérature, il est plurifactoriel impliquant l'hôte, le site, la mini-vis, le protocole chirurgical, la procédure orthodontique et la maintenance. Parmi les nombreux facteurs incriminés, les niveaux de preuve les plus élevés désignent inflammation, site mandibulaire, âge jeune, épaisseur corticale fine. Notre étude clinique rétrospective sur 5 ans porte sur 379 mini-vis pour 147 patients dans le cadre du service d'Odontologie de Rangueil. Le taux global d'échec est de 15%. Des facteurs de risque significatifs sont relevés tels qu'une hygiène médiocre, la localisation postérieure, le site mandibulaire et la repose extemporanée pour stabilité primaire insuffisante. Des tendances (ns) apparaissent pointant la spécialité de l'opérateur, le côté droit et le diamètre. Des pistes de recherche sur la nature du bilan radiologique et une extraction proximale à la vis, explorées pour la première fois, sont à creuser.

TITRE EN ANGLAIS : Contribution to the study of the failure rate of orthodontic anchorage mini-screws and research on risk factors : retrospective clinical analysis.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie dentaire

MOT-CLEFS : Mini-vis, ancrage orthodontique, ancrage osseux, taux d'échec, taux de réussite, facteur de risque, étude clinique rétrospective.

INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III-Paul Sabatier

Faculté de Chirurgie Dentaire 3 chemin des Maraîchers 31062 Toulouse Cedex 9

Directeur de thèse : Docteur Baron Pascal