



HAL
open science

Greffe osseuse pré-implantaire et orthodontie : revue systématique de la littérature

Sophie Michèle Marie Fargue-Rudler

► **To cite this version:**

Sophie Michèle Marie Fargue-Rudler. Greffe osseuse pré-implantaire et orthodontie : revue systématique de la littérature. Sciences du Vivant [q-bio]. 2022. dumas-03899183

HAL Id: dumas-03899183

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03899183>

Submitted on 14 Dec 2022

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

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

U.F.R. D'ODONTOLOGIE

Année 2022

Thèse n°76

THESE POUR L'OBTENTION DU

**DIPLOME D'ETAT de DOCTEUR EN CHIRURGIE
DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement

Par FARGUE-RUDLER, Sophie, Michèle, Marie

Née le 27/01/1996 à Mont-de-Marsan

Le Lundi 7 Novembre 2022

**GREFFE OSSEUSE PRE-IMPLANTAIRE ET ORTHODONTIE
Revue systématique de la littérature**

Sous la direction de : Mr Sylvain CATROS

Membres du jury :

Mr Sylvain CATROS
Mr François de BRONDEAU
Mr Etienne BARDINET
Mr Xavier LAGARDE

PU – PH
MCU - PH
MCU - PH
AHU

Président et Directeur
Rapporteur
Assesseur
Assesseur

UNIVERSITE DE BORDEAUX

MAJ
20/09/2022

Président M. LEWIS Dean
Directeur de Collège des Sciences de la Santé M. PELLEGRIN Jean-Luc

COLLEGE DES SCIENCES DE LA SANTE UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE DES SCIENCES

Directrice Mme BERTRAND Caroline 58-01
Directeur Adjoint à la Pédagogie Mr DELBOS Yves 56-01
Directeur Adjoint – Chargé de la Recherche M. CATROS Sylvain 57-01
Directeur Adjoint – Chargé des Relations Internationales M.SEDARAT Cyril 57-01

ENSEIGNANTS DE L'UFR

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme	Caroline	BERTRAND	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Marie-José	BOILEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M	Sylvain	CATROS	Chirurgie orale	57-01
M	Raphaël	DEVILLARD	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Véronique	DUPUIS	Prothèse dentaire	58-01
M.	Bruno	ELLA NGUEMA	Sciences anatomiques et physiologiques -	58-01
	Jean-		Biomatériaux	57-01
M.	Christophe	FRICAIN	Chirurgie orale	

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme	Elise	ARRIVÉ	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02 58-01
Mme	Audrey	AUSSEL	Sciences anatomiques et physiologiques	57-01
Mme	Cécile	BADET	Biologie Orale	56-01
M.	Etienne	BARDINET	Orthopédie dento-faciale	58-01
M.	Michel	BARTALA	Prothèse dentaire	56-01
M.	Cédric	BAZERT	Orthopédie dento-faciale	
M.	Christophe	BOU	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02 57-01
Mme	Sylvie	BRUNET	Chirurgie orale	58-01
M.	Jacques	COLAT PARROS	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M,	JeanChristophe	COUTANT	Sciences anatomiques et physiologiques	56-01
M.	François	DARQUE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	François	DE BRONDEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Yves	DELBOS	Odontologie pédiatrique	58-01
M,	Emmanuel	D'INCAU	Prothèse dentaire	57-01
Mme	Mathilde	FENELON	Chirurgie Orale	58-01
Mme	Hélène	FRON-CHABOUIS	Dentisterie restauratrice et endodontie	56-01
Mme	Elsa	GAROT	Odontologie pédiatrique	58-01
M.	Dominique	GILLET	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Olivia	KEROUREDAN	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
M.	Jean-François	LASSERRE	Prothèse dentaire	57-01
M.	Yves	LAUVERJAT	Parodontologie	
Mme	Javotte	NANCY	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Adrien	NAVEAU	Prothèse dentaire	58-01
M.	Philippe	POISSON	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M.	Patrick	ROUAS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	François	ROUZÉ L'ALZIT	Prothèse dentaire	58-01
M.	Johan	SAMOT	Biologie Orale	57-01
Mme	Maud	SAMPEUR	Orthopédie dento-faciale	56-01
Mme	Rawen	SMIRANI	Parodontologie	57-01
M.	Cyril	SEDARAT	Parodontologie	57-01
Mme	Noélie	THEBAUD	Biologie Orale	57-01
M.	Eric	VACHEY	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01

PRATICIENS HOSPITALO-UNIVERSITAIRE

M.	Pierre-Hadrien	DECAUP	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Julia	ESTIVALS	Odontologie pédiatrique	56-01

AUTRES ENSEIGNANTS

Mme	Maxime	BOITEAUD	CDD 2e degré Santé publique	56-02
-----	--------	----------	-----------------------------	-------

ASSISTANTS

M.	William	AUMAILLEY	Prothèse dentaire	58-01
M.	Bastien	BERCAULT	Chirurgie Orale	57-01
M.	Baptiste	BERGES	Prothèse dentaire Prévention épidémiologie – Economie de la santé –	58-01
Mme	Virginie	CHUY	Odontologie légale	56-02
Mme	Diane	DELADRIERE	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01

M	Quentin	DESPERIEZ	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Laura	DONNET	Biologie Orale	57-01
Mme	Laurie	FUCHS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Paul	GIRARDEAU	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M	Pierre-André	GUILLAUD	Parodontologie	57-01
Mme	Jane	GOURGUES	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M	Louis	HUAULT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
Mme	Mathilde	JACQUEMONT	Parodontologie	57-01
M	Aymeric	JOUBERT DU CELLIER	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
M	Jean-Baptiste	IRIBARREN	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Claudine	KHOURY	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme	Camille	LACAULE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Antoine	LAFITTE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Xavier	LAGARDE	Chirurgie Orale	57-01
Mme	Mathilde	LEVRIER	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Léa	MASSE	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Chiara	PASCALI	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Florianne	VILLAT	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
M.	Clément	VACHEY	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01

A notre Président et Directeur de thèse

Monsieur le Professeur Sylvain CATROS

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Section Chirurgie Orale 57-01

Je vous remercie vivement de m'avoir fait confiance en me proposant ce sujet et en acceptant de diriger l'ensemble de ce travail. Merci pour votre disponibilité et vos conseils qui m'auront aiguillée et permis de le mener à bien.

Je vous remercie également pour vos enseignements à l'université, toujours précis et clairs. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma reconnaissance et de mon respect.

A notre Rapporteur de thèse

Monsieur le Docteur François de BRONDEAU

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section Orthopédie dento-faciale 56-01

Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur de faire partie de mon jury et d'avoir revu mon travail avec autant d'enthousiasme.

Merci pour l'enseignement universitaire que vous m'avez donné.

A notre Assesseur

Monsieur le Docteur Etienne BARDINET

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section Orthopédie dento-faciale 56-01

Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur de faire partie de mon jury et de juger la qualité de mon travail.

Je vous remercie pour l'enseignement universitaire que vous m'avez donné.

A notre Assesseur

Monsieur le Docteur Xavier LAGARDE

Assistant Hospitalo-Universitaire

Section Chirurgie Orale 57-01

Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur de faire partie de mon jury et de juger la qualité de mon travail.

A **Dieu**,

Donnez-moi de rester humble et fidèle, dans mon travail comme à la maison.

A **Marie**,

Merci pour votre protection maternelle et votre intercession. Vous êtes notre refuge.

A **Papa**,

Merci de m'avoir fait découvrir cet exigeant mais beau métier. Merci de m'avoir donné le goût de l'effort ! Tes patients ne tarissent pas d'éloges sur ton travail : cela en dit long sur la qualité de tes soins ! J'espère que je saurai continuer ce chemin que tu as tracé.

Merci pour tout ce que tu nous as permis de vivre et tout ce que tu nous as donné : tu es un véritable chef de famille. J'admire tout ce que tu as fait et tout ce que tu as construit pour nous, et t'en remercie du fond du cœur ! Merci pour ton dévouement ! Je suis bien triste que tu ne sois pas présent à l'occasion de ma soutenance !! mais « on est peu de chose » et on ne maîtrise pas tout ...

A **Maman**,

Merci pour ta bienveillance et ta patience maternelle. Merci pour l'enseignement que tu m'as donné et le courage dont tu as fait preuve. Merci pour ta persévérance. Merci d'avoir su épauler et accompagner papa durant toutes ces années : un véritable équilibre dans votre couple qui donne à réfléchir ! Merci de ce que tu continues à faire pour lui, et pour nous !

A mes frères et sœurs : **Paul-André, Charlotte, Marie-Alice, Claire, Clémence**,

Merci pour votre bienveillance et votre confiance. Merci pour les relations que nous avons pu construire. Je rends grâce pour notre unité dans l'épreuve que nous vivons actuellement. J'espère que nous aurons l'intelligence de continuer sur cette voie !

A ma belle-sœur et mes beaux-frères : **Mathilde, Jean-Benoît, Grégoire, Pierre**,

Félicitations d'avoir tenu aussi longtemps dans notre famille. Merci pour ce que vous avez fait, surtout durant ces derniers mois et ces derniers jours.

A mes neveux et nièces : **Paul, Aliénor, Louis, Adélaïde** (mention spéciale), **Ambroise, Joseph** et **Albane**, et tous ceux qui arrivent,

Continuez à bien grandir et à faire vivre la maison quand on se retrouve tous !!

A **Ulrich**, mon cher mari,

Merci pour ta patience et ton soutien. Je suis admirative de la rapidité avec laquelle tu as acquis une aisance dans ton travail : bravo ! Je suis heureuse que tu t'y épanouisses autant. Tu es super fort ! Merci de si bien t'occuper de Charles. « Le métier d'homme est un rude métier. Ceux qui vivent sont ceux qui se battent. Il faut savoir que rien n'est sûr, que rien n'est facile, que rien n'est donné, que rien n'est gratuit. Tout se

conquiert, tout se mérite. Si rien n'est sacrifié, rien n'est obtenu. » (*Hélie de Saint-Marc, Que dire à un jeune de vingt ans ?*)

A **Charles**, mon poussin,

Merci pour toute la joie que tu nous apporte au quotidien, continue de bien grandir et d'être aussi joyeux !

A **baby2**,

Merci de m'avoir poussé à finir ma thèse avant que tu ne viennes agrandir la famille. On a hâte de te rencontrer !

A mes beaux-parents, **Christophe** et **Frédérique**,

A mon beau-frère et mes belles-sœurs, **Franz**, **Marie-Astrid**, **Sigrid**,

A mon neveu **Arsène**,

Merci pour votre accueil chaleureux dans votre famille. Merci Franz pour ton aide dans l'élaboration de ma bibliographie.

A frère **David O.P.**,

Merci pour vos nombreux enseignements d'une qualité inégalable, les week-ends Lumen, les week-ends Frassati, les routes chantantes, etc. Autant d'activités de haut niveau (intellectuel, spirituel, et sportif) qui m'auront aidée à grandir à la fois seule pendant mes études, puis avec Ulrich. Vous êtes un repère pour nous. Bon courage pour vos nouvelles obligations et pour votre prochaine thèse !

A **Alexandre**, **Marlène**, **Cécilia**, **Sixtine**

Merci pour vos conseils et votre accompagnement en clinique, à la fac, et ailleurs.

A **l'Argonnie**

A tous ceux que j'ai pu oublier !...

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	11
PARTIE I – GENERALITES SUR LES REGENERATIONS OSSEUSES PRE-IMPLANTAIRES.....	12
1. Greffes Osseuses préimplantaires.....	12
1.1. Indications	12
1.1.1. Volume osseux insuffisant / Dimensions des implants	12
1.1.2. Projet prothétique inconsistant / Volume osseux disponible.....	16
1.2. Techniques	16
1.2.1. Greffes en bloc.....	17
1.2.2. ROG (Particules et membranes)	17
1.2.3. Distraction verticale / horizontale	18
1.2.4. Coffrage 3D	19
1.2.5. Sinus Lift.....	19
1.3. Biomatériaux	21
1.3.1. Propriétés recherchées (Ostéoconduction / Ostéoinduction / Ostéogénique)	21
1.3.2. Autogreffes.....	22
1.3.3. Allogreffes	23
1.3.4. Xénogreffes	23
1.3.5. Matériaux synthétiques	24
1.3.6. Membranes.....	25
1.4. Intégration et remodelage des biomatériaux dans les greffes	26
1.4.1. Autogreffe (greffe autologue - os autogène).....	27
1.4.2. Allogreffes.....	27
1.4.3. Xénogreffes	27
1.4.4. Matériaux alloplastiques - synthétiques.....	28
2. Principes du déplacement orthodontique.....	28
2.1. Centre de résistance et centre de rotation de la dent ; force orthodontique	28
2.1.1. Centre de résistance de la dent	28
2.1.2. Centre de rotation de la dent	28
2.1.3. Force orthodontique	28
2.2. Remaniements tissulaires au cours du déplacement orthodontique.....	29
2.2.1. Fonctionnement biologique du déplacement orthodontique	29
2.2.2. La corticotomie associé à l'orthodontie et à la greffe osseuse	31
2.3. Déplacement orthodontique et état parodontal	31

PARTIE II – REVUE SYSTEMATIQUE DE LA LITTERATURE	32
1. Matériel et méthodes	32
1.1. Bases de données interrogées	32
1.2. Critères d’inclusion.....	32
1.3. Critères d’exclusion	33
2. Résultats	33
2.1. Nombre d’articles retenus.....	33
2.2. Tableau présentant les résultats des articles.....	34
3. Discussion	65
3.1. Biais de la présente étude.....	65
3.2. Indications et limites du déplacement orthodontique dans l’os greffé.....	65
3.3. Meilleur biomatériau pour le déplacement orthodontique	66
3.4. Meilleur moment du déplacement orthodontique par rapport à la greffe.....	69
3.5. Le déplacement orthodontique permettrait-il d’éviter la greffe ?	69
CONCLUSION	72
REFERENCES DES ILLUSTRATIONS	73
BIBLIOGRAPHIE.....	75

INTRODUCTION

Dans certains cas de réhabilitation prothétique, des déplacements orthodontiques doivent être associés à un traitement implantaire, avec recours à des greffes osseuses pré-prothétiques. Dans la littérature à ce sujet, sont exposées de nombreuses séries de cas qui exposent des techniques de prise en charge variées selon le site opératoire, mais aucun consensus global n'a encore été établi.

Le but de cette revue de littérature est de chercher à établir un protocole général de prise en charge orthodontique, quelle que soit la zone anatomique concernée, dans le cadre d'une réhabilitation pré-implantaire, ou du moins de mettre en lumière des tendances dans l'établissement de ces protocoles thérapeutiques. Pour mener à bien ce travail, nous essaierons de répondre aux questions suivantes : Est-il possible de déplacer des dents au travers d'os greffé ? Comment se comporte l'os greffé soumis à un déplacement orthodontique ? Quel est le meilleur matériau pour le déplacement orthodontique ? Quel est le meilleur moment pour réaliser le déplacement par rapport à la greffe ?

PARTIE I – GENERALITES SUR LES REGENERATIONS OSSEUSES PRE-IMPLANTAIRES

1. Greffes Osseuses pré-implantaires

1.1. Indications

Les indications des greffes osseuses pré-implantaires sont en rapport avec un déficit osseux contre-indiquant la mise en place correcte d'un implant dentaire, c'est à dire qu'il n'est pas possible d'obtenir une stabilité primaire suffisante, empêchant ainsi l'intégration fonctionnelle et esthétique des réhabilitations prothétiques ultérieures.

Les obstacles anatomiques locaux peuvent également contre-indiquer la pose de l'implant (nerf alvéolaire inférieur, sinus maxillaire...) : il est donc nécessaire d'intégrer à la pose de l'implant des distances dite de « sécurité » afin d'anticiper et d'éviter les complications vasculaires ou nerveuses (1).

Par ailleurs, il peut exister une discordance entre le projet prothétique et le volume osseux disponible, justifiant alors la réalisation d'une greffe osseuse pré-implantaire.

1.1.1. Volume osseux insuffisant / Dimensions des implants

- Volume osseux nécessaire autour d'un implant

L'ostéointégration dépend de la qualité de la jonction anatomique et fonctionnelle directe entre l'os vivant remanié et la surface de l'implant qui est mis en charge. Cliniquement, cela se manifeste par une absence de mobilité de l'implant. L'obtention et le maintien de cette stabilité implantaire sont deux conditions essentielles au succès fonctionnel à long terme des prothèses ostéo-ancrées.

Il est nécessaire qu'un implant soit correctement ostéointégré afin que sa stabilité à long terme soit assurée. Les facteurs de succès de l'ostéointégration dépendent en partie du volume osseux et de la densité osseuse.

La densité osseuse est variable selon les sites anatomiques. (Figure 3)

Un os de faible densité complique la stabilisation primaire et peut retarder la stabilité secondaire. Un os de haute densité offre un ancrage mécanique initial stable et une stabilisation secondaire efficace, mais un os très dense et très corticalisé est faiblement vascularisé et augmente les risques d'échec implantaire.

Le volume osseux disponible doit être suffisant dans les trois plans de l'espace pour poser l'implant dans l'axe prothétique idéal. Afin d'assurer un volume osseux nécessaire autour de l'implant, quelques critères de mise en place de ce dernier sont à respecter. Tout d'abord, dans le sens vertical (Figure 1) :

- Distance entre un implant et une dent : 1,5mm
- Distance entre deux implants : 2mm
- Périphérie implantaire : au moins 1mm d'os autour des spires
- Distance entre l'apex de l'implant et une structure « noble » (nerf, sinus) : 2mm
- En antérieur : enfouissement par rapport à la ligne émail-cément de la dent adjacente \leq 2mm

La totalité des spires de l'implant doivent être recouvertes d'au moins 1mm d'os (1). Un faible volume osseux autour de l'implant conduirait à une résorption osseuse compromettant alors la stabilité et la pérennité de celui-ci.

Dans le sens horizontal (Figure 2), en vestibulaire, l'épaulement implantaire doit être à moins d'1mm de la ligne reliant les points d'émergence des dents adjacentes.

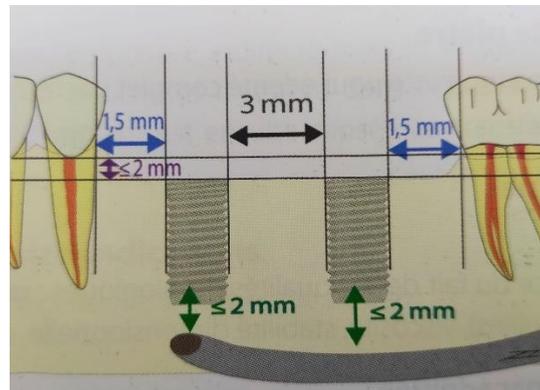


Figure 1 : Critères de mise en place des implants dans le sens vertical (2)

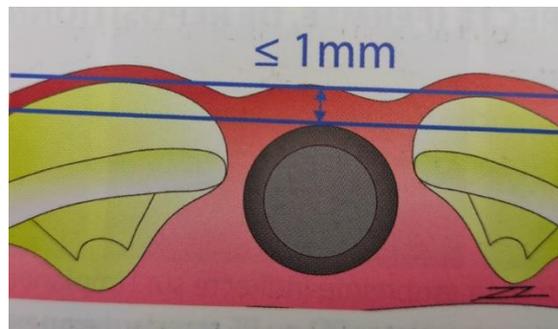


Figure 2 : Critère de mise en place des implants dans le sens horizontal (2)

Le diamètre de l'implant, placé dans un volume osseux adéquat, est à adapter selon le diamètre cervical de la dent qui doit être remplacée (1).

- Dimension des implants

Il existe différents types d'implants :

- Les implants dits standards
- Les implants larges
- Les implants mini ou étroits
- Les implants courts

Les implants courts sont utilisés dans certains cas où malgré un faible volume osseux, les patients ne souhaitent pas subir la complexité, la durée et le coût d'une intervention chirurgicale d'augmentation osseuse (3). En effet, ces implants s'avèrent être une alternative de choix avec des résultats fiables (4). Les implants courts sont ceux dont la longueur intra-osseuse est $\leq 8\text{mm}$ selon la première conférence de consensus de l'*European Association of Osseointegration*, (3).

Ils ont l'avantage de diminuer le risque de contact avec des structures anatomiques ou racines adjacentes, de réduire les délais et coûts de traitement et donc de simplifier la prise en charge des patients. Ils permettent de repousser les limites des traitements quand les situations anatomiques ne sont pas favorables.

De nombreuses études montrent de manière significative de meilleurs résultats sur le long terme après la pose d'implants courts par rapport à la pose d'implants standards après techniques de régénération osseuse, à la fois pour le maxillaire et la mandibule : nous observons davantage de perte osseuse, perforations de membrane lors de sinus lift (5–8). C'est pourquoi certains auteurs, après avoir réalisé des revues systématiques de la littérature (2010 et 2020) préférèrent privilégier des thérapeutiques simples, sans augmentation osseuse si possible, quelle que soit la zone à traiter (7,8).

En revanche, il demeure toujours quelques contestations quant à leur utilisation (3). La réduction de la surface pourrait entraîner une diminution de la stabilité. Pour pallier ce premier risque, il a été envisagé d'augmenter le diamètre implantaire, afin de maintenir une surface de contact os-implant identique pour une longueur réduite. Cependant une revue systématique de la littérature montre qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative du taux de survie à 5 ans entre les différents diamètres pour une même longueur (9,10). Il est logique d'imaginer qu'une reconstitution coronaire sur un implant court conduise à un rapport défavorable et mette à mal la stabilité de celui-ci. Cependant, plusieurs études ont démontré que malgré ce rapport, l'implant est maintenu avec un succès important (10–12). Bien que le taux de survie implantaire et prothétique unitaire soit largement favorable, les implants placés dans un os de type IV présentent un taux de survie significativement inférieur à ceux placés dans un os de type I ou II/III (94,0% VS 100%/99% respectivement) (13). C'est pourquoi le recours aux implants courts unitaires dans ces zones de moindre densité osseuse doit être envisagé avec prudence.

Malgré tout, il faut rester prudent avec ces résultats, et des études sur le taux de survie de ces implants au-delà de 10 ans, voire des études à 5-10 ans pour les implants courts de 5mm sont nécessaires (3).

Les implants de large diamètre présentent de nombreux avantages par rapport aux implants standards (14) :

- Augmentation de la surface d'ancrage osseux
- Meilleure stabilité primaire
- Meilleure stabilité des composants prothétiques
- Meilleure résistance à la fracture
- Amélioration du profil d'émergence

De manière générale, les indications des implants larges sont de plus en plus nombreuses (15–17). Ils peuvent être employés chez les patients avec un os peu dense (type III ou IV) car l'utilisation d'implants standards dans un os de type IV conduirait à environ 30% d'échecs (18–20). Nous pouvons également avoir recours à ces implants chez des patients présentant un faible volume osseux global, avec une faible hauteur de crête mais une largeur importante ($\geq 8\text{mm}$). Dans ces cas, le recours aux implants courts ($\leq 8\text{mm}$) est également possible, mais avec des risques d'échecs plus importants à moyen et long terme (21–23). L'utilisation d'implants larges permet d'éviter des chirurgies lourdes pour le patient, telles que le comblement de sinus ou le déplacement de nerf mandibulaire. Les implants larges ont un intérêt également dans le remplacement de molaires, relativement larges : le diamètre mésio-distal de la couronne est ainsi similaire à celui de l'implant, au contraire des implants standards (14). Un autre recours aux implants de large diamètre est celui de l'extraction-implantation immédiate dans les secteurs prémolo-molaires (implants de diamètre 5-6mm) (24).

Les mini-implants sont des implants de faible diamètre allant de 1,8mm à 2,5mm. Ces implants peuvent être utilisés dans des crêtes de hauteur $< 10\text{mm}$ et de largeur comprise entre 4 et 6mm. Leur utilisation par rapport à des implants standards évite le recours à des greffes osseuses. Ils sont utilisés surtout dans les cas de prothèse complète implanto-portée : soit à court terme chez des patients malades en attente d'une autre solution implantaire, soit en solution pérenne chez les patients âgés et fragiles (24,25). Ils peuvent

également être employés pour remplacer une dent unitaire sur crête étroite (mésio-distal ou vestibulo-lingual). Ils peuvent également servir d'ancrages provisoires pour les déplacements orthodontiques (25).

Les mini-implants sont soumis aux mêmes contre-indications absolues que pour l'implantologie conventionnelle. De plus, la marge de manœuvre pour la pose de ces implants est plus importante que pour la pose d'implants conventionnels car il y a moins de contraintes anatomiques. En revanche, pour les réhabilitation prothétiques, il faut un nombre supérieur d'ancrages afin de compenser le faible diamètre de ces implants (25).

Aussi, selon la densité et le volume osseux, donc selon la zone anatomique concernée, le protocole de forage implantaire et le type d'implant varie (os de type I / os de type II ou III / os de type IV).

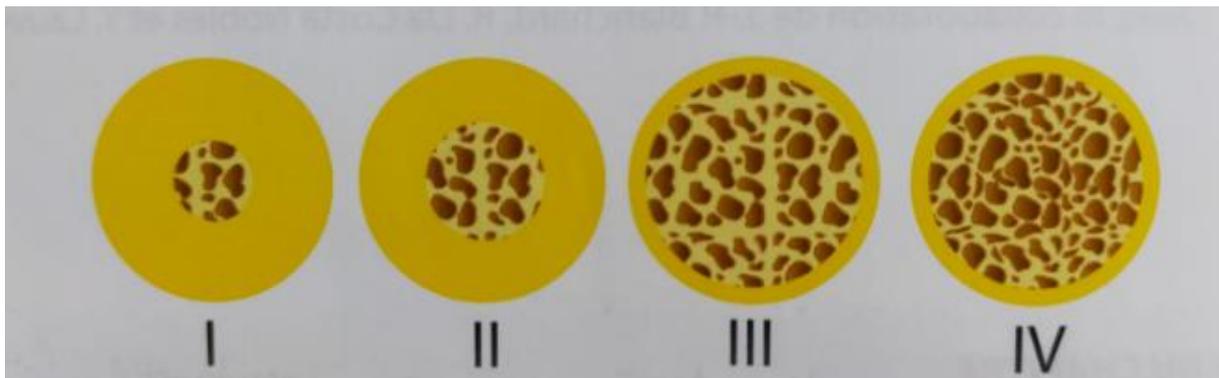


Figure 3 : Classification osseuse de Zarb et Lekholm (1985) (2)

D'après la classification osseuse de Zarb et Lekholm, le type d'os est variable selon la région anatomique (2). Elle se présente comme suit :

- de Type I au niveau de la symphyse mandibulaire : constitué presque exclusivement d'os cortical
- de Type II : prémolaires maxillaires : corticale épaisse et os spongieux à trabéculations denses
- de Type III : postérieur mandibulaire et antérieur maxillaire : corticale fine et os spongieux à trabéculations denses
- de Type IV : postérieur maxillaire : corticale fine et os spongieux peu dense

MAXILLAIRE	Diamètre mésio-distal cervical (mm)	Diamètre vestibulo-lingual cervical (mm)	Diamètre implantaire adapté
Incisive centrale	7	6	Standard ou large
Incisive latérale	5	5	Standard ou mini
Canine	5,5	7	Standard ou large
Première prémolaire	5	8	Standard
Deuxième prémolaire	5	8	Standard
Première molaire	8	10	Large
Deuxième molaire	8	9	Large

Figure 4 : Diamètres recommandés des implants maxillaires selon le diamètre moyen des dents, d'après Davarpanah et col. 1998 (14)

MANDIBULAIRE	Diamètre mésio-distal cervical (mm)	Diamètre vestibulo-lingual cervical (mm)	Diamètre implantaire adapté
Incisive centrale	3,5	5,5	Mini
Incisive latérale	4	5,5	Mini
Canine	5	6,5	Standard
Première prémolaire	5	7	Standard
Deuxième prémolaire	5	8	Standard
Première molaire	8,5	9	Large
Deuxième molaire	8	9	Large

Figure 5 : Diamètres recommandés des implants mandibulaires selon le diamètre moyen des dents, d'après Davarpanah et col. 1998 (14)

1.1.2. **Projet prothétique inconsistant / Volume osseux disponible**

Le positionnement implantaire est guidé par le projet prothétique final. Ainsi, si dans la zone souhaitée comme support implantaire le volume osseux n'est pas suffisant pour placer l'implant en bonne position, il faut avoir recours à la greffe osseuse.

Quand la cicatrisation osseuse naturelle est insuffisante ou que les conditions locales sont défavorables à la pose d'un implant, il est choisi de maintenir ou d'augmenter le volume osseux par l'utilisation de biomatériaux de comblement. En revanche, leur emploi présente quelques inconvénients : ils ralentissent fréquemment la cicatrisation osseuse naturelle, ou encore peuvent être encapsulés dans du tissu fibreux, et leur mise en place nécessite une étape chirurgicale plus ou moins lourde pour le patient, et représente un coût financier non négligeable (26).

Il existe trois principales indications justifiant du recours aux greffes osseuses en chirurgie pré-implantaire (27) :

- La prévention de la perte osseuse alvéolaire à la suite d'une avulsion dentaire (28)
- La réhabilitation volumique et morphologique tridimensionnelle de la crête édentée par insuffisance transversale, verticale ou mixte de petits ou gros défauts.
- L'augmentation de la hauteur sous-sinusienne

1.2. **Techniques**

Chiapasco en 2009 a évalué les taux de survie des implants, suite à différentes techniques d'augmentation osseuse (revue de littérature : 26 publications gardées sur 331 trouvées ; 893 patients inclus au total) (29). La durée de suivi des patients était d'au moins 12 mois en moyenne après le début de la mise en charge prothétique.

Le taux de survie était variable pour une même technique selon qu'elle est appliquée au maxillaire ou à la mandibule. Elle est variable également pour une même zone anatomique selon la technique de régénération utilisée. Après une greffe d'apposition, le taux de survie implantaire était de 79,5 % au maxillaire (suivi 6-240 mois) et 94,8 % à la mandibule (suivi 6-90 mois). Au maxillaire, le taux de survie était variable selon la technique de comblement utilisée. Après un comblement de sinus, il était de 95 % (suivi 6-144 mois), contre 95,9 % (suivi 6-72 mois) à la suite de techniques de distraction verticales, et il variait de 92 à 100 % (suivi 6-133 mois) à la suite d'une ROG (29).

Le choix de la technique chirurgicale de régénération se fait selon la situation clinique, les caractéristiques de l'insuffisance osseuse, mais surtout selon le plan de traitement prothétique et implantaire (27).

Il existe deux grands types de greffes osseuses : les greffes d'apposition et les greffes de comblement (alvéoles d'extraction ou sinus lift). L'indication principale des greffes d'apposition est d'augmenter la largeur de l'os. Pour augmenter la hauteur d'os, les greffes d'apposition ou des techniques de greffes plus complexes comme le coffrage en 3D peuvent être utilisées.

La technique de la greffe d'apposition, dite aussi greffe en onlay, consiste à superposer un bloc osseux sur l'os résiduel et à le fixer avec des vis d'ostéosynthèse.

D'après la revue systématique de littérature menée par Mazjoub et al. en 2019 sur 40 essais contrôlés randomisés, deux points peuvent être retenus (30), l'utilisation d'un matériel de greffe osseuse conduit à un taux de résorption osseuse moins important que pour une cicatrisation alvéolaire spontanée. Ces techniques de préservation alvéolaire post-extractionnelles permettent de pallier le processus naturel de résorption osseuse associé à une perte dentaire quelle qu'elle soit et ainsi d'obtenir un volume osseux suffisant pour la mise en place d'un ou plusieurs implants. Il a conclu qu'aucune différence significative n'était observée entre les différentes familles de substituts (allogénique, xénogénique, alloplastique).

1.2.1. Greffes en bloc

La greffe d'apposition en onlay consiste à visser directement le greffon cortical ou cortico-spongieux sur un site receveur résorbé, préalablement préparé ou non. Elle peut se faire verticalement ou horizontalement, mais elles sont souvent associées (verticale et horizontale). Bien qu'elle concerne généralement l'os autologue, on peut réaliser des greffes d'apposition à partir de différents types d'os (allogénique, xénogéniques). (31,32) Selon l'origine du greffon et son degré de corticalisation, la résorption est plus ou moins lente et la revascularisation plus ou moins bonne (32,33). C'est pourquoi cette technique, du fait d'une grande présence d'os cortical, présente de forts taux de résorption (26,32). L'éventuelle préparation du site receveur consiste en la réalisation de perforations corticales, ce qui augmente l'apport vasculaire et donc diminue le risque de résorption (34,35).

1.2.2. ROG (Particules et membranes)

La Régénération Osseuse Guidée est une technique de régénération faisant appel à l'utilisation d'une membrane. Elle s'inspire de la Régénération Tissulaire Guidée RTG et de son principe d'exclusion cellulaire. Elle a pour but d'augmenter le volume osseux en stimulant la création d'os par les cellules de l'organisme. L'idée est d'isoler deux tissus dont la vitesse de cicatrisation est différente afin d'éviter que celui dont la cicatrisation est plus rapide n'envahisse la zone de celui dont la cicatrisation est plus lente. Dans le cas de la ROG, il s'agit d'isoler les cellules conjonctives des cellules osseuses (36).

Une membrane est associée à un greffon (de préférence autologue). Elle sert essentiellement de coffrage au matériau de comblement et a plusieurs rôles (36) :

- Mainteneur d'espace : c'est elle qui garantit le volume et la hauteur de l'augmentation et stabilise la greffe ou le caillot
- Exclusion cellulaire : maximiser les chances de la régénération osseuse pour obtenir des conditions esthétiques et fonctionnelles idéales.

Le greffon osseux et la membrane ont une action complémentaire. La membrane circonscrit la zone que le praticien souhaite régénérer en évitant que les tissus mous ne prennent la place dédiée à l'os. En parallèle, le greffon agit comme un support pour la membrane et stabilise celle-ci en maintenant la zone de formation d'os.

De manière générale, la ROG est utilisée pour les défauts de petit volume, alors que les greffes d'apposition sont utilisées pour les défauts de plus grande étendue (37).

1.2.3. Distraction verticale / horizontale

L'expansion osseuse ou distraction horizontale permet de pallier les défauts osseux en épaisseur, là où la distraction alvéolaire verticale permet de pallier les défauts osseux en hauteur.

La distraction osseuse est une technique complémentaire de la greffe osseuse (37). Elle tente de pallier les limites de la ROG et de la greffe d'apposition (38).

La distraction osseuse est un procédé chirurgical regroupant différentes techniques qui permettent d'allonger ou de créer de l'os par l'utilisation d'un distracteur interne ou externe. Elle est comparable à une greffe en sandwich avec transfert progressif de la crête par un dispositif transmuqueux. Cette technique nécessite plusieurs temps opératoires (33,39-41).

Le principe de la distraction osseuse pourrait être comparable à l'orthodontie car une apposition osseuse est observée dans une zone osseuse soumise à une tension. L'expansion osseuse entraîne le déplacement progressif de la table osseuse (42). Elle repose sur la séparation d'un segment osseux, la mise en place d'un dispositif permettant de déplacer graduellement le segment détaché le long d'un axe prédéfini. Le caillot sanguin initial est ainsi étiré, se minéralise, et conduit ainsi à la formation osseuse. Dans la plupart des cas, les tissus mous suivent le mouvement osseux sous-jacent (38) mais parfois, la correction des tissus mous est nécessaire afin d'assurer la pérennité et l'étanchéité de la zone d'intervention (42).

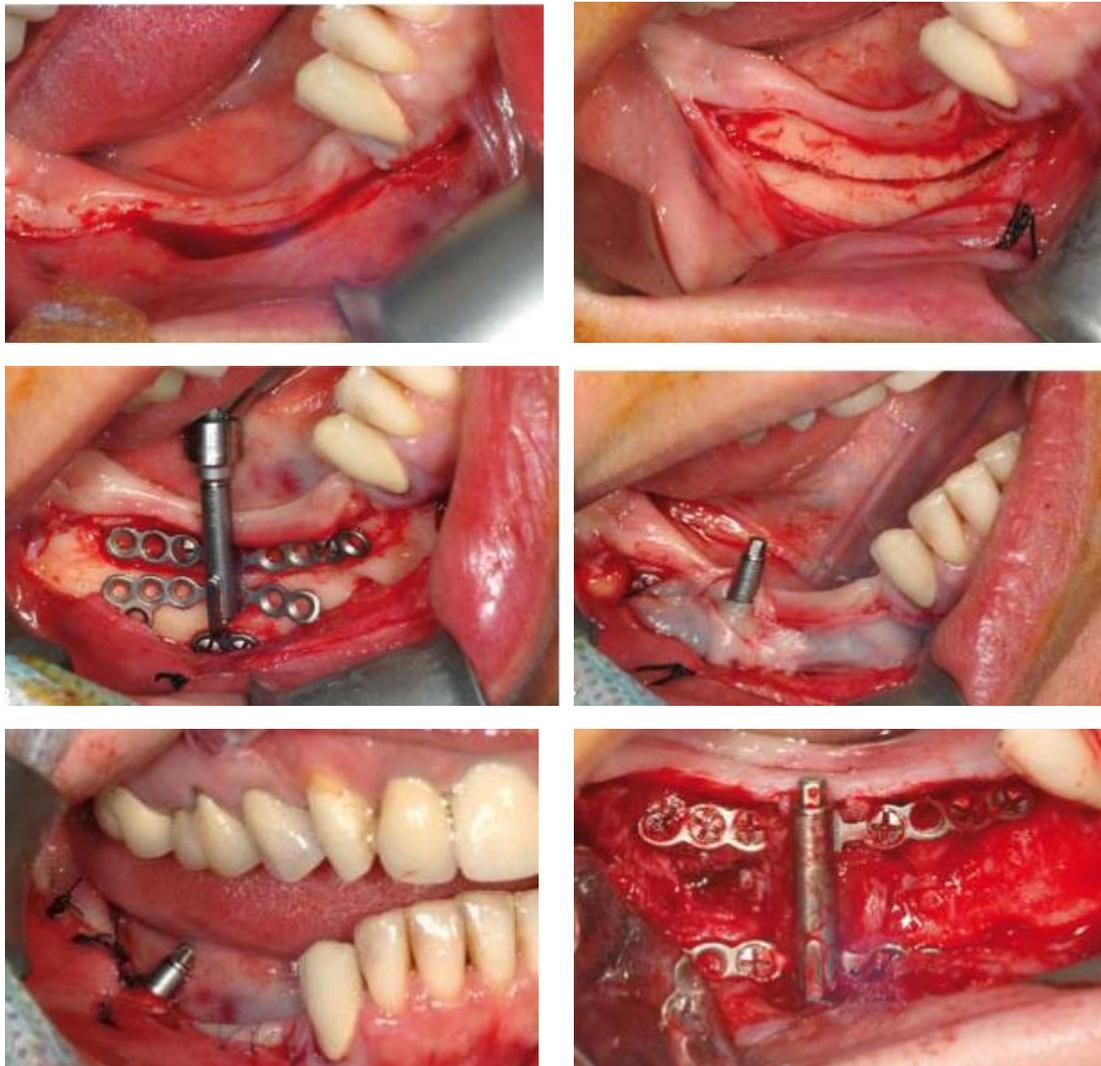


Figure 6 : Technique de distraction osseuse alvéolaire verticale avec pose d'une membrane PRF en vestibulaire (38)

1.2.4. Coffrage 3D

La greffe osseuse par coffrage est plutôt utilisée pour les secteurs postérieurs mandibulaires (33,43,44). Grâce à cette technique décrite par Fouad Khoury, un volume osseux important peut être gagné et une importante variabilité de positionnement du greffon peut être obtenue : l'objectif est de pouvoir poser des implants de taille standard avec un environnement prothétique idéal (en hauteur et épaisseur) (44) par la reproduction de l'architecture classique de l'os alvéolaire (parois d'os cortical et centre comblé par les copeaux de substitut osseux) (32).

Les dimensions du coffrage et son positionnement sur la crête peuvent être variables grâce aux plaques d'ostéosynthèse disponibles. Les corticales du coffrage servent d'appui latéral aux implants, et l'apex de l'implant s'enracine sur la corticale de la crête alvéolaire native (44).

La difficulté de cette technique réside dans le fait que les parois d'os cortical doivent être maintenues à distance du site receveur (32). Cette technique permet de gagner jusqu'à 8mm d'os en vertical (45).



Figure 7 : Exemple d'un coffrage 3D : les éléments, vue supérieure, vue externe, et fixation à la mandibule (44)

1.2.5. Sinus Lift

Le sinus lift, ou élévation du plancher sinusien consiste en l'augmentation du volume osseux sous-sinusien pour permettre la mise en place d'un implant dans un volume osseux suffisant. Le manque de place est généralement dû à la résorption osseuse post-extractionnelle physiologique, mais également au processus naturel de pneumatisation des sinus maxillaires (37). La membrane est soulevée et le matériau de comblement est déposé entre l'os existant et la membrane déplacée.

Le matériau de comblement le plus utilisé dans ces zones est la xéno greffe d'origine bovine (Bio-Oss®) (37,46). Les substituts alloplastiques tels que les hydroxyapatites ou les phosphates tricalciques sont

également utilisés. Haas et al. en 2002 a montré qu'il n'y a pas de différence significative après utilisation d'hydroxyapatite ou d'os autogène sur un modèle de sinus lift chez le mouton (47). Mais ces résultats sont contrebalancés par une étude menée par Danesh-Sani et al. en 2016 chez l'homme, qui montre une différence statistiquement significative : l'os autogène conduit à la formation d'une plus grande quantité d'os que l'utilisation d'un substitut osseux alloplastique (BoneCeramic®) (48).

La densité du maxillaire est faible (37). L'objectif du sinus lift est de placer un implant de taille standard (49).

Il existe deux grandes voies d'abord chirurgical (49):

- L'abord latéral : pour les patients qui nécessitent une augmentation >3mm
- L'abord crestal (technique de Summers) : pour les patients qui nécessitent une augmentation <3mm

Concernant l'abord latéral, les différentes étapes sont les suivantes (Figure 8) :

- A : lambeau muco-périosté permettant l'accès à la zone d'intérêt
- B : réalisation de l'ostéotomie
- C : comblement de la zone par le biomatériau
- D : mise en place de l'implant (immédiate ou après 4 à 6 mois de cicatrisation)

Concernant l'abord crestal, les différentes étapes sont les suivantes (Figure 9) :

- A : situation initiale
- B : forage à l'aide d'un ostéotome et soulèvement de la membrane, mise en place du matériau de greffe
- C : mise en place de l'implant (immédiate ou après 4 à 6 mois de cicatrisation)

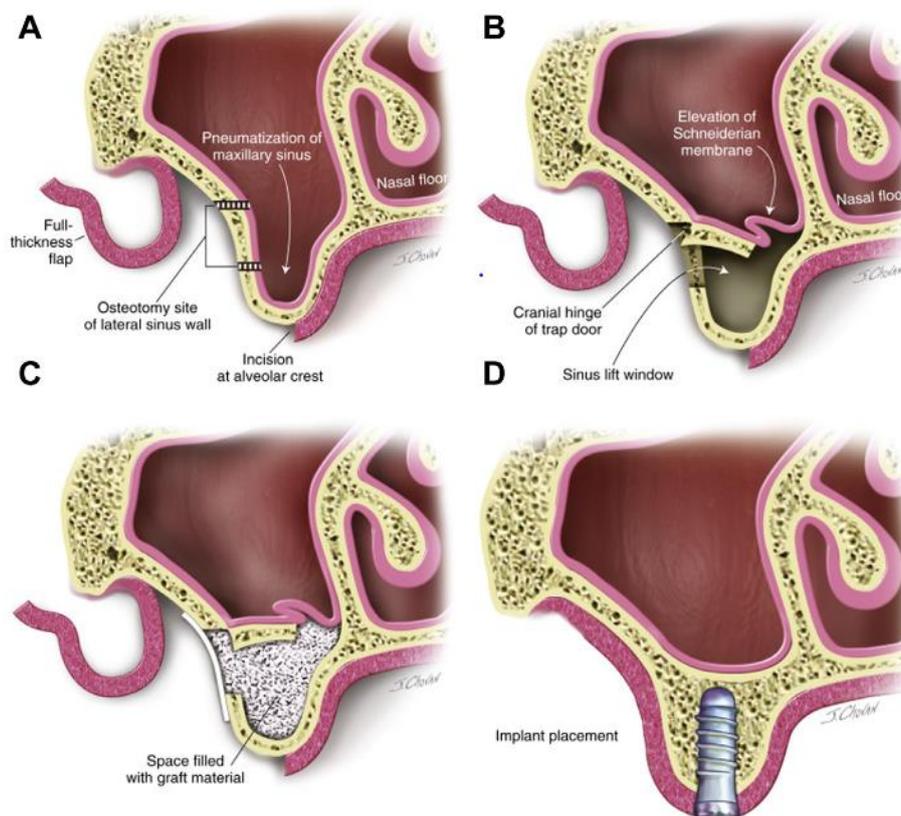


Figure 8 : Dessin représentant le sinus lift par abord latéral (49)

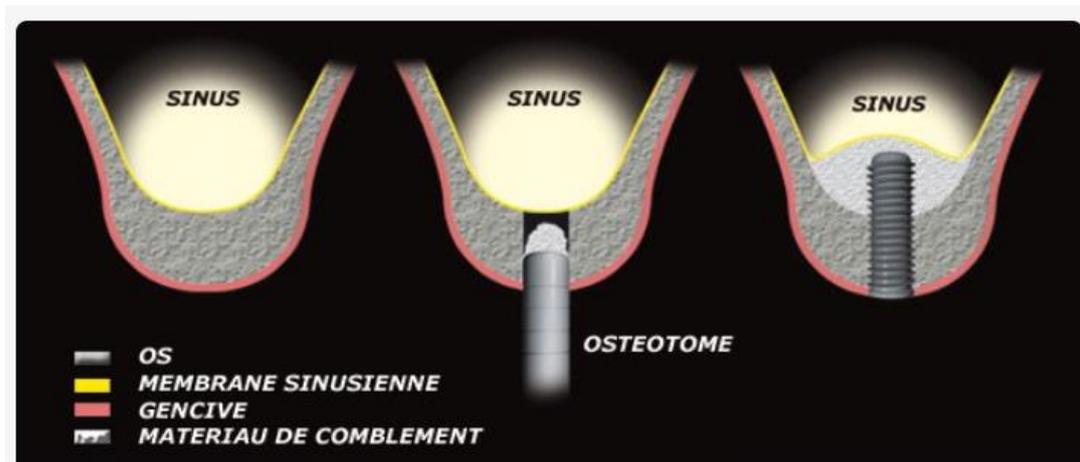


Figure 9 : Sinus lift par abord créal = Technique de Summers (50)

1.3. Biomatériaux

Un biomatériau est un matériau destiné à être en contact avec les tissus vivants et/ou les fluides biologiques pour évaluer, traiter, modifier les formes ou remplacer tout tissu, organe ou fonction du corps (consensus de Chester, Royaume-Uni, 1991) (51).

Un substitut osseux est un biomatériau d'origine humaine, animale, végétale ou synthétique destiné à l'implantation, dans la perspective d'une reconstitution du stock osseux par le renforcement d'une structure osseuse ou le comblement d'une perte de substance osseuse (51).

L'intégration de la greffe dans un défaut osseux nécessite une bonne vascularisation, à la fois à travers les vaisseaux nouvellement synthétisés et par l'anastomose entre les vaisseaux du site receveur et les vaisseaux formés *ex novo* dans la greffe osseuse.

1.3.1. Propriétés recherchées (Ostéoconduction / Ostéoinduction / Ostéogénique)

- **Définition de l'Ostéoconduction**

« Propriété passive d'un matériau à recevoir la repousse osseuse, par invasion vasculaire et cellulaire à partir du tissu receveur au contact de ce matériau. » (51–54). Il s'agit d'un phénomène de croissance osseuse par apposition à partir de l'os receveur (35). Afin d'optimiser la pénétration du substitut, sa porosité doit être interconnectée (53), et doit dépasser les 300µm (55). L'ostéoconduction est la propriété commune à la plupart des substituts osseux (52).

- **Définition de l'Ostéoinduction**

« Processus de stimulation par des protéines conduisant à la prolifération et/ou la différenciation de cellules souches en matrice osseuse minéralisable » (52). Il s'agit de la capacité à induire, indépendamment du tissu environnant, une différenciation cellulaire pour synthétiser une matrice osseuse minéralisable (26,51,53,54). Cette propriété est due à la présence de facteurs de croissance de la matrice organique, que l'os soit dévitalisé ou non (53). Le matériau ostéoinducteur placé sur un site ectopique doit être capable d'induire une formation osseuse. Cette propriété est due aux protéines morphogénétiques osseuses, les BMPs (26,35).

- **Ostéogénique**

L'ostéogénèse est le processus de croissance osseuse à partir des cellules vivantes du greffon. L'os autogène immédiatement implanté est capable d'une telle propriété (35). Cette propriété peut être également retrouvée dans un substitut osseux créé en laboratoire avec des cellules du receveur (52,53).

L'os cortical est moins ostéogénique que l'os spongieux car plus compact et donc moins cellulaire. Pour une même quantité d'os spongieux, c'est la présence de cellules souches mésenchymateuses multipotentes (principalement ostéoblastes) qui détermine le pouvoir ostéogénique de ce dernier (53).

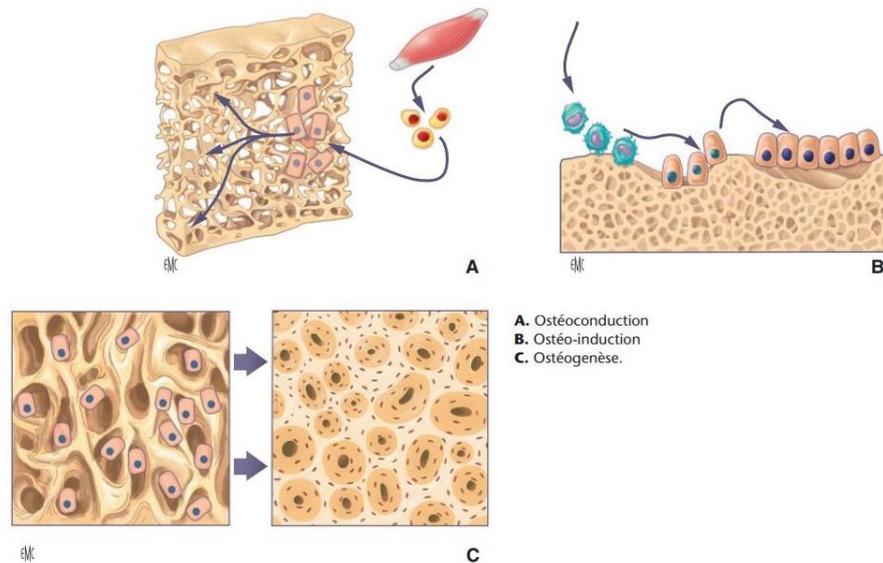


Figure 10 : Ostéoconduction, ostéoinduction, et ostéogénèse (53)

Les substituts osseux peuvent être classés en deux grandes catégories selon leur origine (26,56) :

- Matériaux d'origine naturelle :
 - Autogreffe
 - Allogreffe
 - Xéno greffe
- Matériaux d'origine synthétique :
 - Céramiques phospho-calciques : hydroxyapatite HA et phosphate tricalcique α TCP et β TCP
 - Bioverres

Certains auteurs parlent d'une troisième catégorie : les matériaux composites ou mixtes (26,52,56).

1.3.2. Autogreffes

Ils sont prélevés sur le patient lui-même. L'autogreffe est la référence (37) des greffes osseuses car elle possède toutes les caractéristiques requises pour une bonne croissance osseuse : ostéoconduction, ostéoinduction, ostéogénèse, et compatibilité immunitaire (51,53,57). En revanche, ses inconvénients ne sont pas négligeables et ont conduit à l'utilisation de plus en plus importante de substituts osseux. Ses limites sont les suivantes : quantité restreinte, morbidité du site de prélèvement (douleurs, lésions nerveuses...). Les autogreffes sont les seules à avoir des propriétés ostéoinductrices grâce à la présence de protéines morphogénétiques osseuses BMPs (26).

1.3.3. Allogreffes

L'allogreffe consiste en la transplantation de greffons ayant pour origine la même espèce que le receveur. Il existe des allogreffes lyophilisées (Freeze Dried Bone Allograft FDDBA) ou lyophilisées et déminéralisées (Demineralized Freeze Dried Bone Allograft DFDBA) (53). Le fait que les allogreffes soient dépourvues de moelle osseuse permet de diminuer drastiquement l'antigénicité (31). La déminéralisation permet d'ajouter un potentiel ostéoinducteur à l'ostéoconduction déjà présente chez les FDDBA : elle permet d'exposer les protéines responsables de l'induction (35,53) (cf Figure 11). Les allogreffes sont donc à la fois ostéoconductrices et résorbables, et parfois ostéoinductrices. Elles sont soumises à une réglementation (51,52,56) En revanche, les allogreffes sont peu utilisées en France (37,58) : nous avons plutôt recours aux xéno-greffes (59) ou au matériaux alloplastiques. Mais peu de données cliniques sont disponibles sur le recours aux différentes catégories de substituts osseux en chirurgie orale (59).

Les DBM (Demineralized Bone Matrix) sont obtenues par déminéralisation de l'os cortical : elles font partie des DFDBA (59).

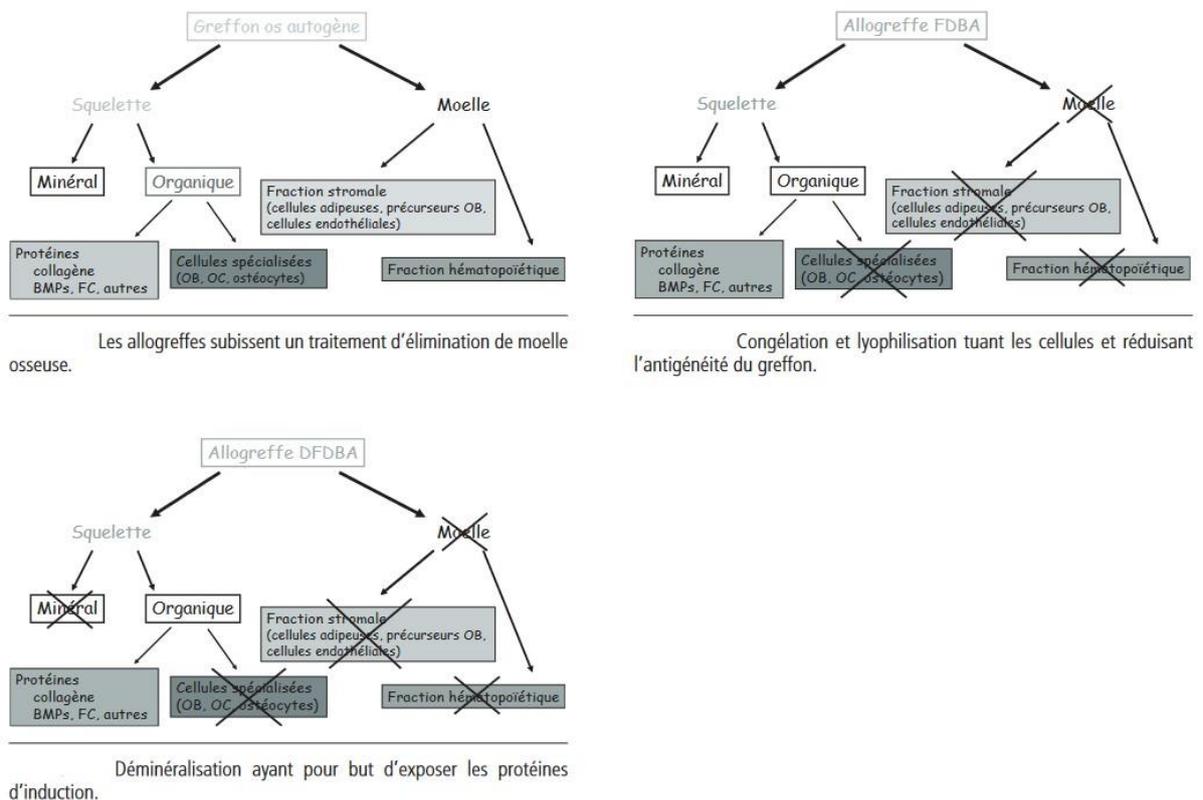


Figure 11 : les différentes étapes de traitement d'un greffon d'os autogène pour obtenir une allogreffe lyophilisée et déminéralisée (35)

1.3.4. Xéno-greffes

La xéno-greffe désigne la greffe d'un substitut qui a pour origine une espèce biologique différente de l'homme : le contenu organique de l'os et donc son potentiel infectieux et antigénique est supprimé, seule la structure minérale est conservée intacte par un processus de céramisation, c'est-à-dire par un chauffage à très haute température (environ 300°C) (35) (cf Figure 12). Leur origine est variable (mammifères, corail, animal) mais la majorité est d'origine bovine ou porcine associée à du collagène (60). Les xéno-greffes sont principalement ostéoconductrices car elles forment un échafaudage favorable à la migration vasculaire et cellulaire et ostéoinductrices (28,31,35,53). Le plus connu dans le domaine dentaire est le Bio-Oss® (origine bovine).

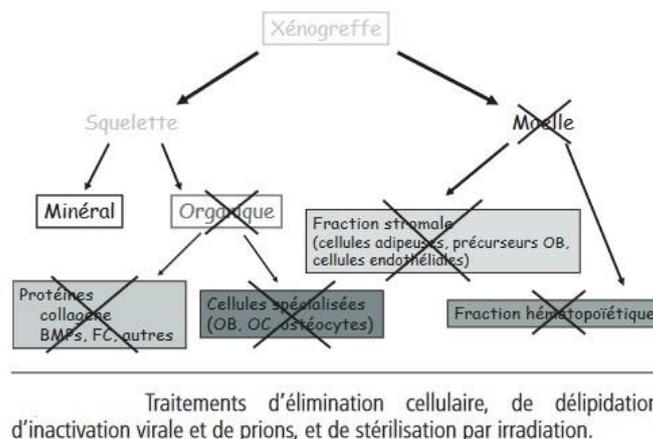


Figure 12 : Traitement des greffons pour obtenir une xélogreffe (35)

1.3.5. Matériaux synthétiques

Les matériaux alloplastiques sont plutôt ostéoconducteurs (26,27,51) et dans certains cas ostéoinducteurs (52) et peuvent être résorbables ou non. De manière générale, les substituts alloplastiques sont utilisés en comblement alvéolaire. Leur efficacité dépend de leurs propriétés physico-chimiques, qui doivent se rapprocher le plus possible de celles de l'os : porosité, architecture, composition chimique, rapport calcium/phosphore. Mais de manière générale, leurs caractéristiques structurales sont semblables à celles du tissu osseux (60).

Ils peuvent être classés comme suit (59,60) et sont :

- Hydroxyapatites HA : l'HA est un composant retrouvé naturellement en quantités importantes dans les tissus durs. L'HA synthétique peut être trouvée sous forme poreuse ou non, céramique ou non. Ils peuvent être utilisés pour les ROG.
- Les phosphates tricalciques α TCP et β TCP. Au cours de leur résorption, ils libèrent des ions calcium et magnésium, ce qui induit l'activation de phosphatase alcaline, essentielle pour la synthèse de l'os.
- Bioverres : principalement employé pour les élévations sinusiennes.

Les avantages de ces substituts osseux par rapport à tous les autres existants sont :

- leur disponibilité illimitée (contrairement à l'os autogène),
- le fait de n'avoir pas de recours à une banque d'os (contrairement à l'os allogénique)
- l'absence de risque de transmission de d'agents pathogènes

Ils constituent 60% des substituts osseux utilisés (52).

Il existe également les matériaux composites. Ces substituts osseux sont composés de deux phases avec un potentiel différent. Ce sont des céramiques de phosphate de calcium qui sont ostéoconductrices (cf β TCP et HA), associées à une matrice collagène d'origine animale.

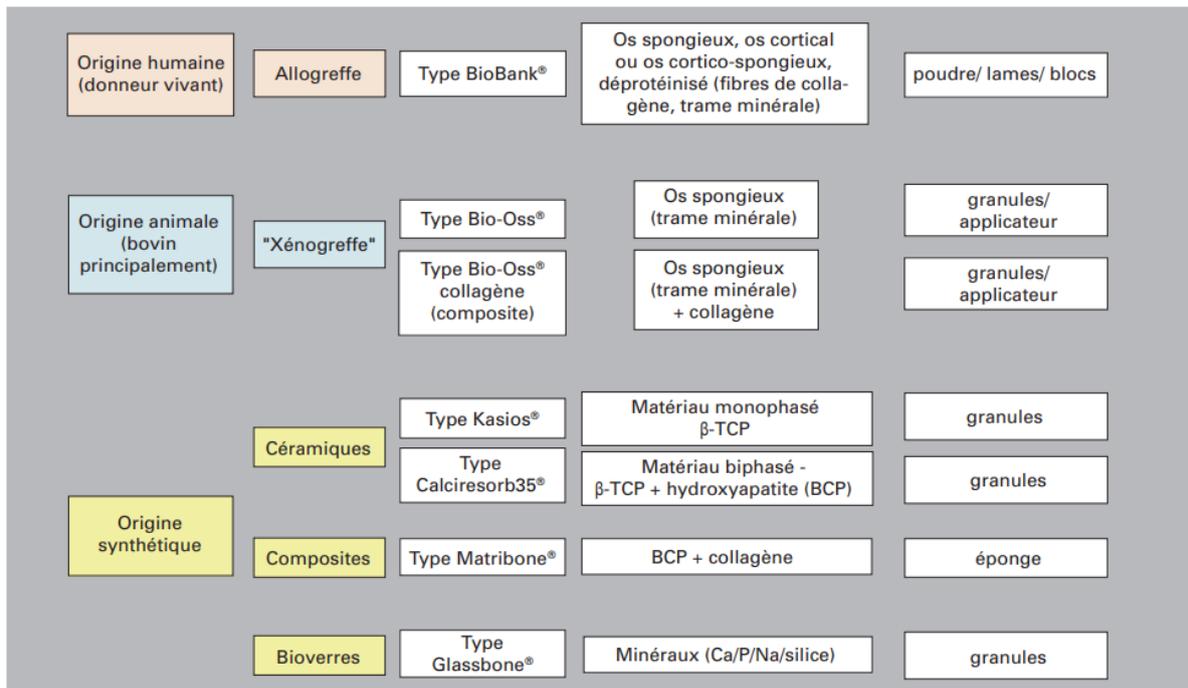


Figure 13 : Les substituts osseux en France : les alternatives aux autogreffes actuellement utilisées en odontologie (61)

1.3.6. Membranes

Les membranes sont classées selon leur rigidité/souplesse ou bien selon leur potentiel résorbable ou non résorbable. Ici, nous retiendrons la classification selon la résorbabilité des membranes.

Les membranes résorbables sont transformées après la chirurgie en quatre étapes : hydratation, déformation, dégradation et résorption. Elles ont des avantages non négligeables, dont celui de ne pas nécessiter de deuxième intervention chirurgicale de retrait et donc de diminuer les complications post-opératoires. En revanche, elles nécessitent l'interposition d'un matériau de greffe pour maintenir le volume à reconstruire (36).

Elles sont réparties en trois grandes catégories :

- les membranes collagéniques : leur manipulation est aisée et elles sont généralement bien tolérées par l'hôte. Elles ont une morbidité réduite. Les plus connues sont Bio-Gide®, et Hypro-Sorb®. Ce sont des membranes bi-couches : elles possèdent une surface rugueuse en regard de l'os et une surface lisse en regard des tissus mous. (36)
- les membranes synthétiques : parmi elles existent les membranes Vicryl®, Guidor® ou encore Paroguide®
- les membranes PRF Platelet Rich Fibrin : elles sont constituées de fibrine autologue, leucocytes, plaquettes et de molécules de l'immunité. Leur résorption est très rapide et leur efficacité est discutée.

Les membranes non résorbables doivent être retirées dans un deuxième temps chirurgical, ce qui est une limite importante. Ce deuxième temps opératoire risque également de provoquer une infection du site opératoire.

La membrane non résorbable la plus répandue est la Gore-Tex® en téflon (ePTFE). Elle a l'avantage de laisser passer les fluides vasculaires mais pas les cellules épithélio-conjonctives. Dans certains cas, les membranes en téflon sont renforcées d'une structure en titane ce qui permet une meilleure maniabilité et évite une éventuelle déformation sous le poids du lambeau (37).

1.4. Intégration et remodelage des biomatériaux dans les greffes

Les greffes et reconstructions osseuses en chirurgie pré-implantaire ont pour but de restaurer un environnement osseux optimal pour la mise en place et l'ostéointégration des futurs implants. Ainsi, le résultat idéal recherché serait une reformation complète du volume osseux, l'obtention d'un os de bonne qualité, une restauration de la structure et de la fonction osseuse, ainsi qu'un remplacement complet du substitut osseux par l'os néoformé, avec à long terme, une résorption minimale et un bon maintien du volume obtenu. Le traumatisme lié à l'intervention et à la procédure de greffe induit un processus de cicatrisation osseuse au niveau du site receveur, régulé par de nombreuses cytokines et facteurs de croissance. Le greffon ou substitut osseux est alors incorporé lors de la néoformation osseuse et lors du processus de remodelage. Dans le cas d'un matériau résorbable, il sera progressivement remplacé par l'os nouvellement formé, tandis qu'un matériau non résorbable persistera en l'état dans l'os natif (27). Selon l'objectif voulu par le praticien, il sera préférable de choisir un substitut résorbable ou non. Si le but relève de l'amélioration esthétique, alors le biomatériau idéal serait non résorbable ou lentement résorbable. En revanche, si le but est d'obtenir du tissu osseux, alors il sera préférable d'avoir recours à un substitut résorbable (60) : c'est le cas de la chirurgie osseuse pré-implantaire pour laquelle le but est de d'obtenir un os fonctionnel capable de permettre l'ostéointégration de l'implant dentaire. Ainsi, le biomatériau idéal doit être progressivement résorbable et remodelé par l'os.

Il y a de nombreuses similitudes entre les processus nécessaires à la formation et la régénération des tissus parodontaux : dans les deux cas, les cellules appropriées doivent être attirés et fixées sur le site. Une matrice appropriée doit être sécrétée par les cellules afin de fournir un environnement propice à la prolifération et à la différenciation cellulaire (62,63).

La formation osseuse dans les substituts osseux alvéolaires passe par la formation d'un blastème mésenchymateux qui s'ossifie secondairement de façon partielle ou totale. Il n'est pas rare de retrouver du biomatériau noyé dans le tissu fibro-conjonctif (26).

Quel que soit le matériau utilisé, la cicatrisation osseuse alvéolaire se fera selon un mode proche de l'ossification des os à ossification membraneuse, sans passer par une matrice conjonctive. Le mode de cicatrisation est proche de celui observé au cours d'une extraction simple. Les matériaux utilisés sont intégrés au processus de cicatrisation et résorbés ou non en fonction de leur composition (26).

De manière générale, l'incorporation du greffon résorbable peut être résumée en trois étapes (35) :

- 1. Réaction inflammatoire, pénétration de bourgeons vasculaires et migration cellulaire. Cette étape est dépendante du lit receveur et étroitement liée à la perméabilité du greffon, c'est-à-dire à sa granulométrie et sa porosité (accès et anastomose des capillaires plus ou moins facile).
- 2. Résorption du greffon et remplacement de celui-ci par de l'os néoformé.
- 3. Remplacement lent et progressif du greffon, total ou partiel. Si la granulométrie est trop faible, il n'y a pas de résorption possible en dehors du remodelage physiologique car les particules du greffon sont incluses dans le néo-os. C'est pourquoi, certaines particules de biomatériaux peuvent être visibles quelques mois voire quelques années après la chirurgie.

L'influence du lit receveur sur l'ostéointégration du greffon est liée à la fois à la vascularisation de son os spongieux, au périoste et aux tissus mous. Leur rôle dans la cicatrisation se fait par l'apport de facteurs de croissance et de cytokines qui jouent un rôle dans la cicatrisation. Les ostéoblastes proviennent des cellules souches mésenchymateuses et des cellules bordantes. Les tissus mous sont à l'origine d'un phénomène inflammatoire aigu avec de vasodilatation avec exsudat de plasma et leucocytes, et de la formation de caillot sanguin avec la présence de plaquettes qui produisent des facteurs de croissance qui ont eux-mêmes une

influence sur les cellules endothéliales et fibroblastiques dans l'élaboration d'un tissu de granulation pour la néovascularisation (35). La bioactivité des matériaux est liée à des phénomènes de dissolution de surface qui libèrent les ions phosphates et calcium qui sont incorporés à la matrice minérale de l'os (26).

Bien que le processus d'intégration des matériaux de greffe osseuse soit similaire pour la plupart des matériaux, il persiste malgré tout quelques différences selon les propriétés intrinsèques de chaque famille de substitut osseux. (26,35).

Dans tous les cas, le biomatériau doit être au moins ostéoconducteur car la bonne ostéointégration des implants ne peut se faire qu'en présence d'un tissu osseux vivant, vascularisé, et avec une bonne homéostasie. Les implants ne s'ostéointègrent pas en contact direct avec les matériaux de substitution. Seul le remodelage osseux le permet par sa succession de résorption/apposition. Il est donc nécessaire que le biomatériau soit résorbé puis colonisé par les ostéoblastes afin d'être remplacé par de l'os néoformé (64).

Nous pouvons noter une différence de remodelage selon que le substitut utilisé le soit sous forme de bloc ou sous forme de particules. Sous forme de particules, le greffon subit une vascularisation plus précoce et a une surface de contact plus importante avec le caillot, ce qui permet un remodelage important et un relargage de facteurs de croissance plus important qu'avec un greffon monobloc (35).

1.4.1. Autogreffe (greffe autologue - os autogène)

Les autogreffes ont l'avantage d'être à la fois ostéoconductrices, ostéoinductrices, et ostéogénitrices (26).

L'intégration et le remodelage de l'os autogène dépendent à la fois de facteurs embryologiques et architecturaux.

Selon leur origine embryologique et la proportion corticale/spongieuse, la cicatrisation sera différente. Les os du crâne ont une origine membranaire alors que la plupart des autres os ont une origine endochondrale : le taux de survie cellulaire est plus important avec les tissus d'origine membranaire que les tissus d'origine endochondrale (65). L'origine membranaire du greffon permet une plus grande préservation volumique dans le temps, ainsi qu'un taux de survie cellulaire plus important (35,66). Ce sont à la fois les propriétés des ostéoblastes et de la matrice-extra-cellulaire qui varient selon qu'ils soient d'origine membranaire ou endochondrale (67-69) .

Dans les cas de sinus lift, le broyage de greffon cortico-spongieux permet d'obtenir des particules plus fines et plus maniables que le bloc (35).

1.4.2. Allogreffes

L'allogreffe, à la différence de l'autogreffe, ne contient pas de cellules osseuses vivantes et nécessite ainsi un temps plus long pour la phase de régénération osseuse. Elles sont en revanche résorbées relativement rapidement (31).

Exemple du bloc cortico-spongieux *Puros*®

1.4.3. Xénogreffes

La plupart des xénogreffes sont considérées comme non résorbables (64), et se comportent comme un échafaudage, en favorisant la migration de cellules vasculaires et ostéogéniques au sein de leur structure (31).

Parfois, le recours à la combinaison xénogreffe/os autogène permet d'ajouter des facteurs de croissance (35).

1.4.4. Matériaux alloplastiques - synthétiques

Les matériaux synthétiques possèdent une capacité de liaison à l'os et agissent comme des substrats pour la croissance osseuse : ils sont ostéoconducteurs mais ils ne sont pas ostéogéniques. On retrouve une formation osseuse au contact de particules de phosphates tricalciques (35).

Les phosphates de calcium résorbables le sont de deux manières :

- Par dissolution grâce à une déminéralisation centripète
- Par phagocytose semblable au remodelage osseux : la résorption des particules par les cellules phagocytaires modifie leur aspect de surface et permet ainsi le recrutement d'ostéoblastes.

Certaines études de comblement osseux menées chez l'homme ont montré qu'une formation d'os néoformé apparaissait au contact du phosphate tricalcique (70,71).

Certains biomatériaux alloplastiques, comme les hydroxyapatites denses ne sont pas résorbables et sont principalement entourés de tissus fibreux (26,35,64).

Pour ce qui est des bioverres, ils ont l'avantage de posséder une proportion de calcium et de phosphates identique à l'os (35,61). Il se produit une liaison chimique étroite à l'os après dissolution de surface du bioverre, et formation d'une couche d'hydroxyapatite (35) ou de phosphate de calcium (61). Les bioverres stimuleraient la prolifération de cellules ostéoprogénitrices par le biais de cette nouvelle couche et minimiseraient la durée d'action des macrophages et des cellules de l'inflammation (35).

2. Principes du déplacement orthodontique

2.1. Centre de résistance et centre de rotation de la dent ; force orthodontique

2.1.1. Centre de résistance de la dent

Le centre de résistance d'un corps libre est défini comme le point à partir duquel l'application d'une force quelconque produit un mouvement de translation pure.

Cependant, le déplacement d'une dent n'est pas aussi simple car elle se déplace avec son parodonte, et elle constitue avec lui un ensemble hétérogène qui subit la force orthodontique. Ainsi, le centre de résistance d'une dent dépend à la fois des racines (mono- ou pluri-radiculée, de leur longueur, de leur forme), mais également de la densité de l'os alvéolaire environnant (72).

2.1.2. Centre de rotation de la dent

Le centre de rotation d'une dent est défini comme le point autour duquel elle tourne, de la même manière que s'il lui était appliquée une force simple à distance de ce centre. Il varie donc selon le système mécanique mis en œuvre, ainsi que le point d'application de la force (72).

2.1.3. Force orthodontique

Une force orthodontique est définie par plusieurs éléments, à savoir : son intensité, sa direction (dans les trois plans de l'espace) et son rythme (continu, discontinu ou intermittent) (72).

Toute force orthodontique appliquée à une dent va provoquer des pressions et tensions desmodontales et parodontales qui vont induire une réponse biologique de l'ensemble des tissus de soutien, dont le but sera de retrouver une position neutre de la dent dans son alvéole par un nouvel équilibre tension-pression.

Il est à noter que, bien que le praticien établisse une direction particulière pour le mouvement orthodontique, la dent subira inévitablement un mouvement dans les trois plans de l'espace. Malgré cette observation, l'orthodontiste devra essayer à la fois de déplacer certaines dents au sein de l'arcade, et de prendre appui sur d'autres dents qui ne doivent pas être déplacées.

Après de nombreuses études menées sur le déplacement orthodontique, et les effets iatrogènes qui peuvent y être associés (résorption radiculaire, perte d'attache, fonte osseuse), les orthodontistes se sont accordés sur la nécessité de réaliser des déplacements dentaires qui se rapprochent des déplacements physiologiques observés.

2.2. Remaniements tissulaires au cours du déplacement orthodontique

2.2.1. Fonctionnement biologique du déplacement orthodontique

Une force appliquée sur une dent entraîne son déplacement par la compression du desmodonte. La force appliquée entraîne un remodelage osseux avec une résorption côté pression, et une apposition côté tension.

- **Remodelage desmodontal**

Le desmodonte a un rôle très important dans le déplacement dentaire car, en plus d'avoir sa propre capacité de remodelage, c'est lui qui régule le remodelage osseux (72). En contrôlant l'activité osseuse par le biais des fibroblastes, cémentoblastes et cellules périvasculaires (73), il assure la protection de la racine et évite que la dent ne s'ankylose. L'ankylose est empêchée par les fibroblastes qui inhibent la différenciation des ostéoblastes par le biais de prostaglandines. Melcher quant à lui stipule que le ligament contrôle l'ostéogénèse en empêchant les ostéoblastes et les cellules progénitrices d'envahir la zone ligamentaire ; il n'a en revanche pas pu en prouver le mécanisme (74).

- **Remodelage alvéolaire** (72)

Le remodelage alvéolaire est effectué dans des foyers appelés Basic Multicellular Unit BMU, selon le cycle Activation-Résorption-Inversion-Formation (ARIF) (cf Figure 14).

- Activation : recrutement des pré-ostéoclastes et fixation sur la zone à résorber, puis fusion des pré-ostéoclastes en ostéoclastes multinucléés
- Résorption : du tissu osseux par les ostéoclastes
- Inversion : arrivée des macrophages qui dessinent la ligne cémentante entre l'os minéralisé et l'os néo-formé.
- Formation : apposition de tissus ostéoïde le long de la ligne cémentante et minéralisation de cet os néo-formé.
- A l'issue de ce cycle « ARIF » se produit une phase dite de quiescence : l'os est de nouveau tapissé de cellules bordantes.

Le remodelage osseux est également régulé par des facteurs généraux (hormones calciotropes), et des facteurs locaux (facteurs de croissance $TNF\alpha$, IGF, cytokines prostaglandine E2, ou interleukines 1 et 6) (75) (cf Figure 15) .

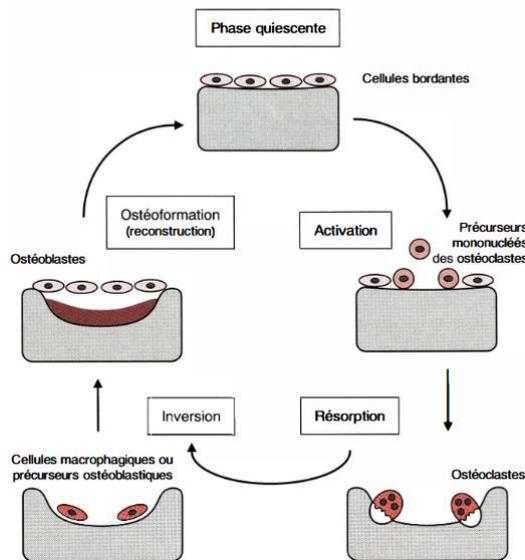


Figure 14 : Cycle de remodelage osseux (75)

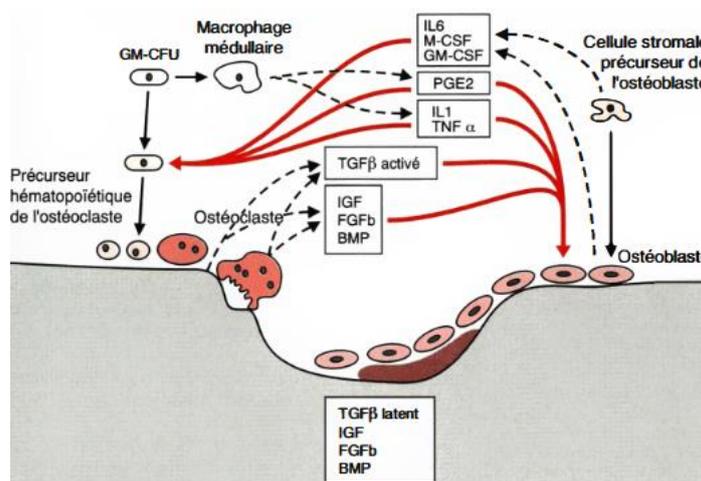


Figure 15 : Principales cytokines et facteurs de croissance impliqués dans le remodelage osseux (75)

Il est à noter que, bien que l'on parle de « côté pression » et « côté tension », il se produit le double phénomène apposition/résorption de chaque côté, mais avec une dominante de résorption côté pression, et une dominante apposition côté tension.

- Effets immédiats et à long terme d'un déplacement orthodontique

Les effets immédiats qui apparaissent dès l'application d'une force sur une dent sont (72) :

- Un déplacement faible et instantané lié à l'élasticité du ligament alvéolo-dentaire
- Un déplacement un peu plus lent dû à la fuite des liquides à travers la lame criblée
- Une déformation de l'os alvéolaire

Les effets à plus long terme s'observeront après un temps de latence variable (un à dix jours) correspondant au déclenchement de phénomènes histologiques de remodelage. La variabilité de cette latence est due à la variabilité du système orthodontique appliqué. Si la pression exercée est faible, l'apport vasculaire se fait toujours et, bien que diminué, il entraîne une résorption directe et rapide. En revanche, si la compression entraîne un arrêt total de vascularisation, la zone se nécrose et se transforme en zone hyaline. Le déplacement

dentaire ne peut alors reprendre que lorsque la zone hyaline est éliminée : c'est ce qui s'appelle la résorption indirecte (76).

Le déplacement orthodontique de la dent conduit à une hypoxie locale et un flux de liquides, ce qui amène à une réaction inflammatoire aseptique. Il est important de contrôler cette dernière, car une inflammation déréglée entraîne une destruction des tissus qui se manifeste par des résorptions radiculaires qui peuvent dans certains cas être induites par l'orthodontie (77).

2.2.2. La corticotomie associé à l'orthodontie et à la greffe osseuse

La corticotomie est une technique chirurgicale qui consiste à fragiliser l'os cortical environnant les dents pour en permettre un déplacement plus rapide que par un traitement orthodontique conventionnel. Par cette incision superficielle, le remaniement osseux est accéléré (78). C'est ce phénomène d'accélération du remaniement osseux qui va permettre une accélération du déplacement dentaire. Cette technique chirurgicale peut s'effectuer sur toutes les dents. Afin de profiter au maximum du remaniement osseux, le déplacement orthodontique devra se faire rapidement après la chirurgie (2 semaines).

Dans certains cas, une greffe osseuse peut être associée à la corticotomie dans le même temps opératoire. Cela a pour but d'augmenter le volume osseux vestibulaire et de prévenir les expositions radiculaires associées aux mouvements orthodontiques (33).

2.3. Déplacement orthodontique et état parodontal

L'orthodontie ne peut être dissociée de la parodontie (72). D'après Fontenelle (1982), « La dent ne se déplace pas au travers de son os de soutien, elle l'entraîne avec elle. » Grâce aux remaniements tissulaires provoqués par l'orthodontie, celle-ci est parfois considérée comme une alternative non chirurgicale aux aménagements tissulaires pré-implantaires (79).

Certaines études ont montré qu'il était possible de déplacer les dents dans un parodonte réduit sans accélérer la destruction parodontale, à condition qu'il soit sain. En effet, dans ce cas et sous l'emploi de forces physiologiques, le déplacement orthodontique stimule l'apposition osseuse. En revanche, il faut noter que la résorption osseuse alvéolaire associée aux parodontites provoque une apicalisation du centre de résistance de la dent, et donc augmente le risque de mouvements parasites car pour une même force, le moment est plus important.

Un déplacement orthodontique dans un parodonte inflammatoire qu'il soit réduit ou non accélère la perte d'attache parodontale (80–86).

PARTIE II – REVUE SYSTEMATIQUE DE LA LITTERATURE

Comme expliqué précédemment, le travail de la présente revue systématique de la littérature porte sur les protocoles de thérapeutique pré-implantaires combinées greffe osseuse – déplacement orthodontique.

Ainsi, nous tenterons de répondre à plusieurs questions afin d'établir un protocole de prise en charge. Les questions principales auxquelles nous tenterons de répondre sont les suivantes :

- Est-il possible de déplacer des dents au travers d'os greffé ?
- Comment se comporte l'os greffé soumis à un déplacement orthodontique ?
- Quel est le meilleur substitut osseux pour le déplacement orthodontique ?
- Quel est le meilleur moment pour réaliser le déplacement par rapport à la greffe ?

1. Matériel et méthodes

1.1. Bases de données interrogées

Les bases de données interrogées étaient PubMed, Dentistry and Oral Science Sources DOSS et Scopus.

La période de recherche allait de 1991 à 2021.

Pour chaque base de données, trois recherches ont été effectuées avec les mots-clés suivants :

- Recherche 1 : « orthodontic tooth movement » AND « dental implant » AND « alveolar bone grafting »
- Recherche 2 : « orthodontic tooth movement » AND « alveolar bone grafting »
- Recherche 3 : « orthodontic tooth movement » AND « new bone formation »

1.2. Critères d'inclusion

Les articles dans lesquels se trouvaient les notions suivantes ont été gardés :

- Application chez l'homme et l'animal : du fait du faible nombre d'études portant sur l'homme, nous avons choisi d'inclure également celles portant sur les animaux.
- Publications en langue anglaise, française ou allemande
- Régénération parodontale pré-orthodontique
- Régénération parodontale pré-implantaire
- Déplacement orthodontique et régénération osseuse
- Déplacement orthodontique à travers un défaut osseux
- Déplacement orthodontique à travers un matériau de greffe
- Fente labio-palatine

1.3. Critères d'exclusion

Les articles dans lesquels se trouvaient les notions suivantes n'ont pas été retenus :

- Orthodontie pré-prothétique et greffe osseuse pré-implantaire non combinés
- Orthodontie et greffe osseuse pré-implantaire non combinés
- Implants dentaires comme ancrage orthodontique
- Cas cliniques isolés

Du fait du trop faible nombre d'articles avec un fort niveau de preuve, le seul critère d'exclusion ayant porté sur le niveau de preuve de l'article est celui des cas cliniques isolés.

2. Résultats

2.1. Nombre d'articles retenus

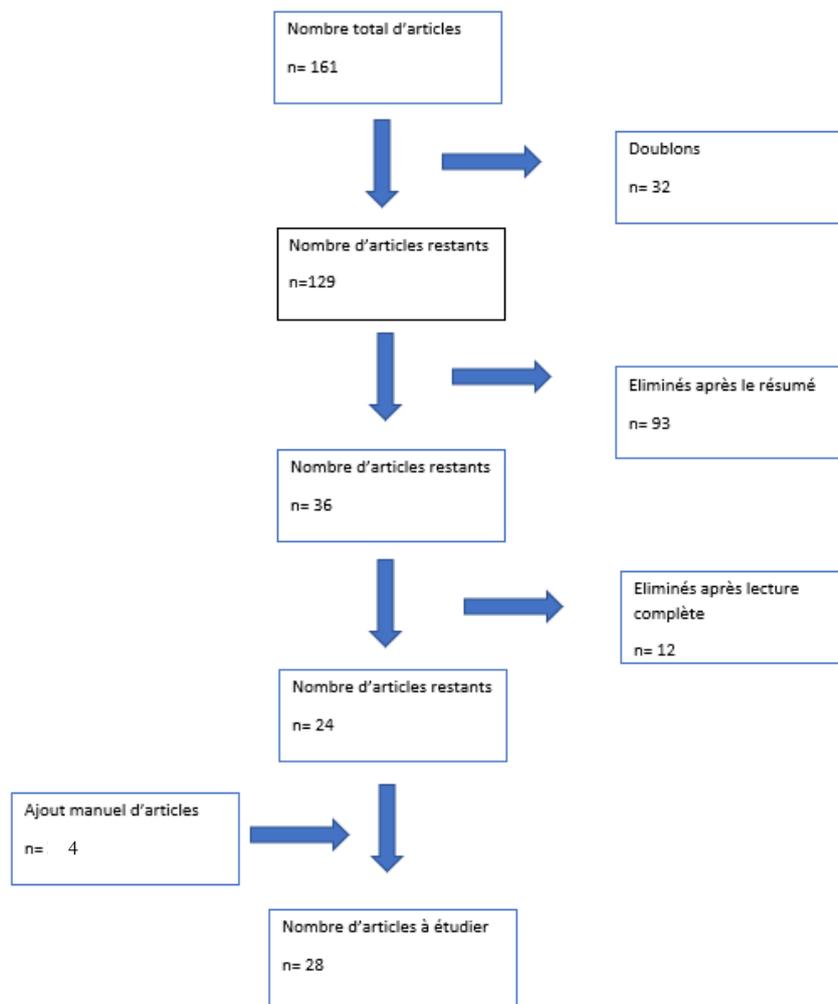


Figure 16 : Résultats de la recherche

La combinaison des 3 recherches sur les trois bases de données a comptabilisé 161 résultats sur lesquels il y avait 32 doublons. 93 articles ont été exclus après lecture simple du résumé. 12 articles ont été exclus après lecture complète. Les articles ajoutés manuellement (issus de la bibliographie des articles pertinents) sont peu nombreux car beaucoup étaient en doublons d'articles déjà conservés.

Les articles étudiés étaient principalement des expériences animales ; seulement 6 étaient réalisées chez l'homme. Seuls 2 articles étaient des revues de littérature dont les articles sources étaient à la fois des expériences animales et humaines.

2.2. Tableau présentant les résultats des articles

- **Études menées sur l'homme et/ou l'animal**

Parmi les 28 articles sélectionnés, 20 concernaient des études animales, 6 des études humaines et 2 étaient des revues de littérature portant à la fois sur l'homme et l'animal.

- **Objectifs**

Parmi les **études animales**, les **objectifs** étaient d'évaluer :

- dans 7 cas la possibilité de déplacer les dents dans différents substituts osseux (87–93)
- dans 6 cas les effets du déplacement orthodontique sur les greffes (57,94–98)
- dans 3 cas les effets des matériaux ou de la préservation alvéolaire sur le déplacement orthodontique (99–101)
- dans 2 cas le meilleur moment d'activation du déplacement orthodontique dans le matériau de greffe (102,103)
- dans 2 cas l'intérêt de la corticotomie sur les traitements combinés greffe-déplacement orthodontique (104,105)

Parmi les **études humaines**, les objectifs étaient d'évaluer :

- dans 1 cas la possibilité de déplacer les dents dans un substitut osseux (106)
- dans 2 cas les effets et modalités de déplacement orthodontique ou expansion maxillaire sur les matériaux de greffe (107,108)
- dans 1 cas le meilleur moment d'activation du déplacement orthodontique dans le matériau de greffe (62)
- dans 2 cas l'intérêt de la corticotomie sur les traitements combinés greffe-déplacement orthodontique (109,110)

Parmi les **études humaine-animale**, les objectifs étaient d'évaluer dans les 2 cas la possibilité de déplacer les dents dans différents substituts osseux (111,112).

- **Régions anatomiques**

Les **régions anatomiques** étudiées étaient principalement :

- **Régions prémolaires** : 11 articles dont 7 traitaient du maxillaire, 2 de la mandibule, et 2 du maxillaire et de la mandibulaire (88,91,92,94,98–101,103–105)
- **Régions molaires** : 4 articles dont 3 traitaient du maxillaires et 1 du maxillaire et de la mandibule (89,96,97,107)
- **Région prémolo-molaire** : 1 article traitait du maxillaire et de la mandibulaire (87)
- **Région antérieure** : 6 articles dont 4 traitaient du maxillaire, 1 de la mandibule, et 1 du maxillaire et de la mandibulaire (90,93,95,106,109,110)
- **Crête alvéolaire maxillaire / imprécis** : 3 articles (57,62,102)
- **Fente alvéolaire maxillaire** : 1 article (108)

- Non renseigné : 2 (111,112)
- **Type d'article / niveau de preuve**
 - Eude expérimentale (57,87–105)
 - Série de cas (62,106–110)
 - Revue de littérature (111,112)

- **Biomatériau**

Les principaux matériaux de greffe employé ou comparés entre eux étaient :

- Autogreffe (97,105,108)
- Allogreffe (89)
- Xéno greffe :
 - o Bio-Oss® (88,96,105,106)
 - o Maxgraft® et Maxresorb® (57)
- Synthétique :
 - o β TCP (89,98,101,105)
 - o β TCP Céramisé (95)
 - o β TCP + HA BoneCeramic® (96)
 - o Bioverres (62,102,109)
- RTG :
 - o Bio-Oss® + membrane résorbable BioGide® (94,103,107)
 - o DFD + membrane résorbable (104)
 - o Emdogain® + membrane résorbable Vicryl® (100)
- Autres :
 - o CSM + HA (90)
 - o Cellules stromales + β TCP (93)
 - o Os autogène + rhBMP-2 (91,92)
 - o BMP + Bio-Oss® + HA (87)

- **Matériel orthodontique**

Les différents articles ne fournissent pas les mêmes informations quant au matériel utilisé, ce qui ne permet pas de les classer par catégories. En revanche, la grande majorité informe qu'ils ont recours à des ressorts hélicoïdaux en Nickel-Titane. D'autres ont recours pour le déplacement orthodontique à des fils en inox de différentes sections sur un appareil multi-bagues, la plupart du temps sectionnel.

- **Temps de traitement orthodontique**

- Etudes animales : de 5 jours à 6 mois
- Etudes humaines : de 3 à 6 mois

- **Méthode d'analyse des résultats**

Les méthodes d'analyse des résultats sont diverses :

- Histométrique / histomorphométrique (permet de mesurer ou quantifier visuellement le volume trabéculaire et la microarchitecture osseuse) : (87,91–94,98,102,103,105,107)
- Histologique (analyse des tissus) : (57,62,88–90,93–100,102–105,107)
- Radiologique (rétro-alvéolaires) : (90,95,99,104,106,109,110)
- Clinique (sonde parodontale, pied à coulisse) : (62,90–92,98,99,101,103–107,109)

- Statistique : (96,101,104,105,108)
- Tridimensionnelle (microtomographie ou CBCT) :(57,89,93,96,98,103,104,108)
- PCR : (97)

Référence article	Type d'article	Humain / Animal	But de l'étude	Méthode	Site anatomique	Biomatériau	Méthode orthodontique	Temps de traitement	Méthode analyse résultats	Conclusion
Determination of orthodontic tooth movement and tissue reaction following DFDBA allograft grafting intervention <i>Ghbraishian et Seifi (99)</i>	Expérimentation animale Etude de cohorte prospective	Animal Chiens allemands : n=3 ; 12 sites (chaque arcade avait 1 côté test et 1 côté contrôle)	Déterminer les effets de la préservation de l'alvéole sur le mouvement immédiat de la dent, la préservation de la hauteur de la crête alvéolaire et la résorption radiculaire orthodontique	1.Création de défauts : avulsion PM3 2.DFDBA d'un côté (groupe T), cicatrisation spontanée de l'autre (groupe C) 3. déplacement orthodontique immédiat : rapprochement simultané des dents adjacentes au défaut 4.Mesures de quantité de déplacement orthodontique, hauteur alvéolaire, et résorption radiculaire	Prémolaires maxillaires et mandibulaires	DFDBA Demineralized Freeze-Dried Bone Allograft (CenoBone®)	Ressort hélicoïdal en NiTi attaché avec un fil métallique de 0,012 pouce autour de la JEC, et collé avec un composite NO-MIX®	8 semaines	Analyse radiologique (rétroalvéolaire) : quantité de déplacement orthodontique + cicatrisation alvéolaire Pied à coulisse de Boley : quantité de déplacement orthodontique Analyse histologique	Légère augmentation de déplacement orthodontique côté test (p<0,05) : déplacement côté test > contrôle de 37% Augmentation alvéolaire verticale : plus importante côté test que contrôle (p<0,05) Résorption osseuse : moins importante côté test (p<0,05) Avantage de préservation alvéolaire + DFDBA + déplacement orthodontique immédiat : taux accru de déplacement orthodontique, effets approuvés sur la préservation de la crête qui réduit le risque

										de déhiscence et la de résorption radiculaire.
Orthodontic movement in bone defects filled with xenogenic graft: an experimental study in minipigs <i>Oltramari et al.</i> (87)	Expérimentation animale Etude de cohorte prospective	Animal Mini-porcs : n=6	Evaluer la possibilité de déplacer orthodontiquement une dent à travers un défaut osseux comblé par un xénomatériau	1.Création de 4 défauts : avulsion de M4 déciduale et du germe de PM4 permanente 2.Comblement des défauts côté droit par la xénogreffe (test) ; comblement par un caillot sanguin et cicatrisation spontanée côté gauche (contrôle) 3.Déplacement orthodontique à M+3 : mésialisation de M1 4.Mort des mini-porcs quand M1 est arrivée à la moitié du défaut	Prémolaires et Molaires maxillaires et mandibulaires	Xénogreffe Gen-Tech : association de matrice osseuse corticale bovine déminéralisée, d'os bovin poreux inorganique, de collagène et de BMP associé à de l'hydroxyapatite synthétique micro granulaire	2 bagues sur M1 permanente et M3 déciduale 2 ressorts fermés (vestibulaire et lingual) en NiTi pour mésialisation physiologique de M1 <i>NB : renfort par un implant d'ancrage en mésial de PM1 déciduale</i> Force d'application : 4,5N au début (déplacement de 1mm par mois) Changement des ressorts à J30, J60 et J90	4 mois environ : jusqu'à ce que M1 atteigne la moitié du défaut	Analyse histomorphométrique de racine mésiale de M1 et des tissus adjacents. Mesure de la résorption radiculaire, hauteur alvéolaire, densité volumétrique du néo-os mesurés par le logiciel KS 300, Zeiss, Jena, Germany Densité volumique calculée selon le principe de Delesse Hauteur alvéolaire calculée selon la méthode de Hansmann et al.	Déplacement dentaire possible dans Gen-Tech. Gen-Tech a permis le déplacement des dents, évité la perte de hauteur de l'os, n'a causé aucun dommage radiculaire significatif et a été presque entièrement remplacée par de l'os après le déplacement orthodontique. P<0,05 : perte osseuse plus importante chez contrôle P<0,05 : % de résorption radiculaire sur la totalité de la racine plus important côté contrôle p>0,05 : pas de différence de la densité

				5.Evaluation histologique et morphologique de la racine M de M1 et des tissus environnants ; analyse de la densité volumique osseuse, pourcentage de résorption osseuse, et hauteur alvéolaire par logiciel						volumique du néo-os
Effect of a resorbable bone graft material on orthodontic tooth movement through surgical defects in the cat mandible <i>Sheats et al.</i> (101)	Expérimentation animale Etude de cohorte prospective	Animal Chats : n= 12 chats adultes ½ mandibule avec β TCP test ; ½ mandibule cicatrisation spontanée : contrôle 4 chats exclus de l'analyse finale car extrusion excessive de PM	Analyser l'effet de l'utilisation de β TCP sur le déplacement orthodontique	1.Création du défaut à la fraise à os en mésial de PM1 mandibulaire 2.Comblement du défaut par du β TCP d'un côté (test T) ; cicatrisation spontanée de l'autre (contrôle C) 3.Déplacement orthodontique à S+6 après la procédure chirurgicale	Prémolaires mandibulaires	β TCP	Ressorts NiTi en regard de C et PM1 côtés T et C Fil de ligature en acier de 0,010 inséré dans les rainures Force de 100g tout le long de l'étude (réactivée 3, 6 et 9 semaines après le début du déplacement orthodontique)	9 semaines	Pied à coulisse : distance entre C et PM1 à S0, S3, S6, S9 L'effet du traitement a été évalué en calculant les fonctions de régression de la différence des mesures moyennes de C à PM1 entre le côté T et le côté C à quatre moments	La présence de β TCP n'a pas affecté de manière significative le déplacement orthodontique β TCP peut-être utile dans les cas où la perte osseuse alvéolaire à la suite d'une extraction peut compromettre le déplacement orthodontique

				4.Mesures à S0, S3, S6, S9 après l'activation du déplacement orthodontique					Analyse statistique	
Orthodontic movement after periodontal regeneration of class II furcation: a pilot study in dogs <i>da Silva et al.</i> (94)	Expérimentation animale Etude de cohorte prospective	Animal Mongrel : n= 4 chiens	Etudier l'effet du déplacement orthodontique sur les tissus parodontaux de PM2 maxillaire après une régénération parodontale de furcation classe II	1.Création des furcation de classe II 2.J+15 : traitement parodontal par RTG avec BBM + membrane résorbable 3.J+60 : déplacement orthodontique côté test ; pas de déplacement orthodontique côté contrôle NB : analyses au début de RTG, début et fin de déplacement orthodontique	Prémolaires maxillaires	RTG : BBM Bio-Oss® + membrane résorbable	Couronnes NiCr sur PM3 et tubes sur C avec ciment adhésif Panavia® Fil d'acier inoxydable de section rectangulaire 0,020 x 0,025, longueur 9mm Tension douce et continue de 100g ; réactivation à les 20 jours	30 jours	Analyse histologique et histométrique	Pas de différence statistiquement significative entre les 2 groupes p/r à la quantité totale d'os et de biomatériau, et p/r à la régénération parodontale sur la surface radiculaire. MAIS Groupe test : plus grande quantité d'os, moins de biomatériau Déplacement orthodontique n'est pas préjudiciable vis-à-vis de la régénération parodontale préalable

<p>Biologic Responses of autogenous bone and beta-tricalcium phosphate ceramics transplanted into bone defects to orthodontic forces</p> <p><i>Hossain et al.</i> (95)</p>	<p>Expérimentation animale</p> <p>Etude de cohorte prospective</p>	<p>Animal</p> <p>Beagle : n= 9 chiens; 3 groupes de 3</p> <p>groupe A : PMCB sans déplacement orthodontique</p> <p>groupe B : βTCPC sans déplacement orthodontique</p> <p>groupe C : PMCB (droite) et βTCPC (gauche) + déplacement orthodontique</p>	<p>Evaluer la réponse biologique de l'os autogène et du βTCP au déplacement orthodontique</p>	<p>1.Extraction I2 et/ou I3 maxillaire</p> <p>2.Résection de l'os alvéolaire environnant</p> <p>3.Greffe de βTCP ou PMCB dans le défaut osseux</p> <p>4. Déplacement orthodontique à S2 ou S4 pendant 9 ou 15 semaines</p>	<p>Incisives maxillaires</p>	<p>βTCPC</p> <p>PMCB = Particulate Marrow and Cancellous Bone (crête iliaque)</p>	<p>Arc sectionnel lingual de C à C avec un ressort à enroulement ouvert entre les incisives centrales pour permettre le mouvement des dents</p> <p>Activation du ressort pour déplacement orthodontique de 2mm par mois</p>	<p>9 à 15 semaines</p>	<p>Analyse histologique</p> <p>Radiographies Rx de la zone greffée prises avant et après greffe, et avant et après déplacement orthodontique</p>	<p><i>p-value non renseignée</i></p> <p>Os autogène et βTCPC présentent des changements adaptatifs similaires à ceux de l'os alvéolaire d'origine, sans aucun stimulus externe</p> <p>βTCPC présente une biodégradation plus importante et formation de néocément avec déplacement orthodontique</p> <p>Moins de résorption osseuse avec βTCPC que l'os autogène</p> <p>βTCPC est biodégradable par nature et adaptable au remodelage osseux</p>
--	--	--	--	---	------------------------------	--	---	------------------------	--	--

										β TCPC est une alternative à l'os autogène dans les défauts soumis au déplacement orthodontique
Orthodontic movement in bone defects augmented with Bio-Oss® : an experimental study in dogs <i>Araujo et al.</i> (88)	Expérimentation animale Etude de cohorte prospective	Animal Beagle: n= 5 chiens	Evaluer la possibilité de déplacement orthodontique au travers du Bio-Oss®	1. Avulsion PM1, PM2, PM4 mandibulaire de chaque côté 2. Comblement défaut PM4 gauche par Bio-Oss® (test) ; PM4 droite cicatrisation spontanée (contrôle) 3. Déplacement orthodontique à M+3 : distalisation de PM3 4. Arrêt déplacement orthodontique quand PM3 dans la zone de PM4 5. Analyses histologiques	Prémolaires mandibulaires	Bio-Oss® mélangé avec une solution saline	Fil d'arc sectionnel (0,018x0,025) attaché avec des tubes standards (0,018x0,015) sur PM3 et M1, et sur l'attelle en distal de C. Ressort spiralé fermé (0,007x0,025) Force de 30-50cN ; ressort réactivé toutes les 4 semaines, c'est-à-dire quand la force appliquée atteint 0 Déplacement physiologique	Déplacement orthodontique à M+3 ; jusqu'à ce que la racine D de PM3 côté test ait atteint l'alvéole de PM4	Analyses histologiques par des procédures standard selon 3 zones de coupe L'aire occupée par l'os minéralisé, les particules du Bio-Oss® et l'os spongieux a été déterminée par un processus de comptage par points.	Possibilité de déplacer une dent dans une zone remplie de Bio-Oss® 3 mois auparavant Plus de néo-os minéralisé côté T : le Bio-Oss® a agi comme un échafaudage pour le dépôt d'os dans une zone autrement occupée par de la moelle osseuse Le Bio-Oss® dans la zone non stimulée reste un matériau de remplissage <i>Pvalue non renseignée</i>

<p>The impact of alloplast and allograft on bone homeostasis: orthodontic tooth movement into regenerated bone</p> <p><i>Klein et al.</i> (89)</p>	<p>Expérimentation animale</p> <p>Etude réalisée en 2 grandes parties : l'étude des résultats du déplacement orthodontique n'est pas réalisée sur la même population que celle qui a initialement reçu les greffes.</p>	<p>Animal</p> <p>Souris C57BL/6</p>	<p>Comparer la cicatrisation osseuse après une allogreffe ou βTCP et évaluer le déplacement orthodontique au travers de l'ancienne alvéole</p>	<p>1. Avulsion de M1 maxillaire et élargissement de l'alvéole</p> <p>2. Alvéoles vides, ou comblées par βTCP ou allogreffe (n=18/groupe)</p> <p>3. Prélèvement des maxillaires à S2, S4, S6 pour analyses μCT et histologiques ; † 6 souris/groupe à chaque prélèvement</p> <p>4. Cicatrisation de 4 semaines (ABR experiment)</p> <p>5. Déplacement orthodontique de M2 après avulsion de M1 et 4 semaines de cicatrisation des alvéoles (βTCP ou allogreffe ou cicatrisation</p>	<p>Molaires maxillaires</p>	<p>Allogreffe (os long)</p> <p>βTCP</p>	<p>Ressort hélicoïdal fermé NiTi de 3mm entre M2 et les incisives maxillaires</p> <p>Fil inox de 0,1mm inséré dans une rainure peu profonde à 0,5mm de la gencive, fixé au RelyX U200 pour améliorer la fixation. RelyX utilisé au niveau de M2 aussi.</p> <p>Ressort activé 1 fois, le jour de l'insertion.</p> <p>Force constante de 10g</p> <p><i>NB : déplacement orthodontique dit tardif, 4 semaines après greffes, selon l'ABR experiment</i></p>	<p>3 semaines</p>	<p>Microtomographie (analyse 3D) et analyse histologique</p>	<p>Meilleure cicatrisation avec βTCP et allogreffe par rapport à une alvéole vide.</p> <p>Seuls résultats avec $p < 0,05$ à S6 : pourcentage de volume osseux sur le volume total et l'épaisseur trabéculaire avec allogreffe plus intéressant qu'avec βTCP ou cicatrisation spontanée</p> <p>βTCP et allogreffe altèrent le déplacement orthodontique p/r à la cicatrisation spontanée. L'allogreffe altère plus le déplacement orthodontique que le βTCP ($p < 0,05$)</p>
--	---	-------------------------------------	---	---	-----------------------------	--	--	-------------------	--	---

				spontanée) ; n=10/groupe 5.Analyse du déplacement de M2 par μ CT						<i>Nécessité de plus d'études sur l'homme pour asseoir la véracité de cette extrapolation à l'homme (différences biologiques, anatomiques, et physiologiques).</i>
Biological effects of orthodontic tooth movement into the grafted alveolar cleft <i>Sun et al. (97)</i>	Expérimentation animale Etude de cohorte prospective	Animal Rats Sprague-Dawley : n=39	Analyse des effets biologiques du déplacement orthodontique dans l'os greffé	1.Avulsion maxillaire bilatérale de M1 2.Greffe d'os iliaque spongieux à S8 3.† 3 rats avant le déplacement orthodontique : analyse de la cicatrisation 4.Déplacement orthodontique côté gauche (T) à S16 (S+8 après la greffe) ; pas de déplacement orthodontique côté droit (C) 5. † Trois fois 12 rats, à S19, S21, S23	Molaires maxillaires	Autogreffe d'os iliaque	Ressorts de tension de 0,012 pouces Force de 100g	5 jours	Analyse histologique Analyses PCR	Le déplacement orthodontique favorise le remodelage osseux par induction, résorption, puis apposition d'os Le déplacement orthodontique est le principal facteur capable d'influencer les mécanismes biologiques du remodelage de greffe.

				6. Analyses histologique et PCR						
BoneCeramic graft regenerates alveolar defects but slows orthodontic tooth movement with less root resorption <i>Ru et al. (96)</i>	Expérimentation animale Etude de cohorte prospective	Animal Rats : n= 60 ; 3 groupes de 20 rats	Etudier la résorption en temps réel et en 3D et les réponses osseuses des zones greffées durant le déplacement orthodontique	1. Avulsion M1 maxillaire gauche 2.3 groupes de rats : cicatrisation spontanée (C) ; Bio-Oss® (T1) ; BoneCeramic (T2) 3.S+4 : mésialisation de M2 pendant 28 jours	Molaires maxillaires	Bio-Oss® BoneCeramic (60% HA, 40% β TCP)	Ressort hélicoïdal NiTi (0,02mm) entre M2 maxillaire gauche et les incisives Ligature de 0,08 pouce fixée par adhésif <i>Transbond, 3M.</i> Activation du ressort d'1mm environ pour produire une force continue de 10g	28 jours	Analyse par microtomographie Analyse histologique Analyse statistique	BoneCeramic ralentit le déplacement orthodontique, mais présente moins de résorption radiculaire et présente un volume osseux plus important : elle a un meilleur potentiel ostéoconducteur Bio-Oss® présente un meilleur taux de déplacement, mais moins bon que celui du groupe témoin
Experimental tooth movement into new bone area regenerated by use of bone-marrow derived mesenchymal stem cells	Expérimentation animale Etude de cohorte prospective	Animal Beagle : n=3	Evaluer le déplacement orthodontique dans une fente alvéolaire comblée par des cellules souches mésenchymateuses et un échafaudage d'hydroxyapatite carboné granulé	1. Création d'un défaut bilatéral au niveau des incisives maxillaires 2. Greffe de CSM + HA carboné côté test ; greffe d'HA seule côté contrôle	Incisives maxillaires	Cellules souches mésenchymateuses (CSM) Hydroxyapatite HA carboné (échafaudage)	Appareil multi-attaches sur les IL et C (bilatéral) Force continue de 100g par une chaîne élastique	6 mois	Mesure clinique de la distance IL-C Mesure radiologique (tous les mois) Analyse histologique	La combinaison CSM/HA carboné peut être une modalité de traitement pour les régénérations osseuses chez les patients atteints de fentes

<i>Tanimoto et al.</i> (90)				3. Déplacement orthodontique à M+6 4. Mesures finales						Déplacement orthodontique et néoformation osseuse obtenus côtés test et contrôle ; taux de déplacement orthodontique constant côté test, variable côté contrôle
Histological Evaluation of Osseous Defects Combined with Orthodontic Tooth Movement <i>Attia et al.</i> (102)	Expérimentation animale Etude de cohorte prospective	Animal Cochons d'Inde	Evaluer l'efficacité des différents moments pour initier le déplacement orthodontique sur l'amélioration de la formation osseuse dans les défauts osseux chirurgicaux	1.Création de défaut osseux au niveau des procès alvéolaires 2.Défauts comblés avec du verre bioactif et une membrane de collagène 3.Division en 3 groupes (n=6/groupe) Groupe I : déplacement orthodontique immédiat Groupe II : déplacement orthodontique à S2	Défaut osseux à équidistance entre l'incisive mandibulaire et M1	Bioverre	Tubes standards (0,018 x 0,015) placés sur les incisives centrales et attachés ensemble par un ressort pour permettre un mouvement de bascule des dents Ressort activé 1 fois par semaine	De 1 à 6 semaines	Analyse histologique et histomorphométrique	La combinaison greffe/déplacement orthodontique semble améliorer le processus de formation osseuse Déplacement orthodontique immédiat permet augmentation statistiquement significative du nombre de trabécules et de la surface totale de nouvel os p/r déplacement orthodontique à S2 ou pas de déplacement orthodontique

				Groupe III : pas de déplacement orthodontique 4.Analyses : sections de bloc à S1, S3, et S6						
Timing of force application on buccal tooth movement into bone-grafted alveolar defects: a pilot study in dogs <i>Ma et al.</i> (103)	Expérimentation animale Etude de cohorte prospective	Animal Beagle : n=6 chiens	Evaluer l'effet du moment d'application de déplacement orthodontique après une greffe alvéolaire sur le remodelage osseux	1.Création bilatérale d'un défaut en distal de PM2 maxillaire 2.Greffe osseuse d'augmentation après 1 mois de cicatrisation physiologique 3.Déplacement vestibulaire de PM2 pour 6 semaines immédiatement après la greffe (F0), à S+4 (F4) et à S+8 (F8) après la greffe	Prémolaires maxillaires	Bio-Oss® et Bio- Gide®	Bagues orthodontique (0,022 pouces) sur la face vestibulaire de C, PM2 et PM4 au Transbond Fil en acier inoxydable (0,0213 x 0,025 pouce) placé dans les supports de C et PM4 PM2 déplacée dans la zone greffée par un ressort fermé NiTi Force constante de 50g	6 semaines	Monitoring digital du déplacement orthodontique Remodelage de l'os alvéolaire par analyse histologique, histomorphomé- trique, immunohistochi- mie, tomographie, et microscope à fluorescence	Néoformation osseuse et minéralisation meilleure chez groupe F4 de manière significative <i>P<0,05</i>
BMP2- Functionalized		Animal	Evaluer l'influence de BioCaP sur la	1.Division en 3 groupes : G1 contrôle, G2	Prémolaires maxillaires	BioCaP = phosphate de calcium	Arc sectionnel avec un fil carré en inox	8 semaines	Taux de déplacement, remodelage	BioCaP a favorisé la régénération

<p>Biomimetic Calcium Phosphate (BioCaP) Graft Promotes Alveolar Defect Healing During Orthodontic Tooth Movement in Beagle Dogs</p> <p><i>Jiang et al.</i> (98)</p>	<p>Expérimentation animale</p> <p>Etude de cohorte prospective</p>	<p>Beagle : n= 9 chiens</p>	<p>cicatrisation alvéolaire durant le déplacement orthodontique</p>	<p>greffe de DBB (os bovin déprotéinisé), G3 BioCaP</p> <p>2. Avulsion de PM1 maxillaire</p> <p>3. Déplacement de PM2 maxillaire dans le défaut</p>		<p>biomimétique fonctionnalisée au BMP2</p>	<p>(0,019x0,025 pouces) fixé avec des tubes standard (0,022x0,028 pouces) sur C et PM2 maxillaires</p> <p>PM2 mésialée par un ressort à spirale fermé en NiTi de 0,012 pouces en utilisant les C comme ancrage</p> <p>Ressort maintenu par une ligature de 0,010 pouces</p> <p>Force continue de 150g</p>		<p>alvéolaire, et cicatrisation osseuse ont été évalués par histologie, histomorphométrie, et analyse CBCT</p> <p>Analyse de la profondeur de poche</p> <p>Collecte du fluide gingival à S4, et S8</p> <p>Niveau d'IL-1β mesuré par ELISA</p>	<p>osseuse et la guérison des défauts alvéolaires sans entraver le déplacement orthodontique ($p < 0,05$)</p> <p>BioCaP a provoqué moins de récession osseuse alvéolaire et résorption radiculaire avec un niveau d'attache parodontale favorable ($p < 0,05$)</p> <p>-> BioCaP est un matériau de comblement osseux bioactif et fonctionnel pour les défauts alvéolaires pendant le déplacement orthodontique</p>
<p>Evaluation of different grafting</p>	<p>Expérimentation animale</p>	<p>Animal</p> <p>Rats : n=21 ; 7/groupe</p>	<p>Comparer la qualité de la greffe osseuse de différents</p>	<p>1. Création d'une fente alvéolaire</p>	<p>Crête alvéolaire maxillaire</p>	<p>Autogreffe hanche</p>	<p>Ressort de tension à enroulement fermé NiTi</p>	<p>8 semaines</p>	<p>Analyse <i>in vivo</i> par tomographie de la densité</p>	<p>Maxresorb® : moins de résorption p/r greffon</p>

<p>materials for alveolar cleft repair in the context of orthodontic tooth movement in rats</p> <p><i>Möhlbenrich et al.</i> (57)</p>	<p>Etude de cohorte prospective</p>		<p>substituts osseux, y compris les autogreffes, lors d'un déplacement orthodontique, après une réparation de fente alvéolaire</p>	<p>2.Grefe osseuse 4 semaines après la création du défaut ; G1 : greffe autologue de hanche ; G2 : os xénogène humain Maxgraft® ; G3 : os synthétique βTCP et HA Maxresorb®</p> <p>3.Déplacement orthodontique à S+4 après la greffe</p>		<p>Xénogène Maxgraft®</p> <p>Synthétique Maxresorb®</p>	<p>entre incisives et M1 maxillaires gauches ; ligature (0,01")</p> <p>Force continue de 0,14N</p>		<p>osseuse et du volume osseux</p> <p>Puis analyse histologique de la néoformation osseuse</p>	<p>autologue ou Maxgraft®</p> <p>Meilleure réaction chez l'os environnant avec l'autogreffe</p> <p>Histologiquement, meilleur niveau de néo-os avec Maxgraft® ; niveau le plus faible chez Maxresorb® <i>p<0,05 (differences between the two bone groups and the synthetic materials were statistically significant)</i></p> <p>Autogreffe comme gold standard au regard de l'intégration du greffon</p> <p>Xénogreffe comparable à autogreffe : il pourrait être utilisé comme alternative à l'autogreffe après</p>
---	-------------------------------------	--	--	--	--	---	--	--	--	---

										modification supplémentaire par ingénierie tissulaire
<p>Orthodontic tooth movement in alveolar cleft repaired with a tissue engineering bone: an experimental study in dogs</p> <p><i>Zhang et al.</i> (93)</p>	<p>Expérimentation animale</p> <p>Etude de cohorte prospective</p>	<p>Animal</p> <p>Beagle : n=7 chiens ; 12 sites</p> <p>1 chien laissé en cicatrisation spontanée su défaut pour servir de contrôle</p> <p>3 groupes ; n=4 sites par groupe</p>	<p>Savoir si βTCP poreux combiné à bMSCs peut réparer une fente alvéolaire et permettre un déplacement orthodontique ultérieur des dents</p>	<p>1.Création de fente alvéolaire maxillaire bilatérale</p> <p>2.Greffe ; GA : bMSCs/βTCP ; GB : βTCP seul ; GC : os autologue de crête iliaque</p> <p>3.Déplacement orthodontique à S+8</p>	<p>Incisives maxillaires</p>	<p>βTCP combiné à bMSCs (cellules stromales de la moelle osseuse induites par l'ostéogénèse)</p>	<p>Fil d'arc segmentaire rectangulaire en inox (0,018x0,025 pouces)</p> <p>Ressort à enroulement fermé en NiTi entre IL1 et C</p> <p>Force de 50g ; ajusté toutes les 2 semaines</p>	<p>12 semaines</p>	<p>Marquage fluorescent séquentiel et observation radiographique pour évaluer la néoformation osseuse et la minéralisation de chaque défaut</p> <p>Analyse histologique et histomorphométrique</p> <p>Analyse du déplacement orthodontique par un scanner-laser 3D (Laser-RE600 ; SEREIN)</p>	<p>bMSCs/βTCP a considérablement favorisé la néoformation osseuse et la minéralisation, a permis d'atteindre une hauteur favorable de l'alvéole p/r au βTCP seul ($p<0,05$)</p> <p>Effet global de bMSCs/βTCP : résultats similaires à os autologue : fonction physiologique de l'os retrouvée, permettant un déplacement des dents dans la région greffée (non significatif)</p> <p>-> La combinaison de bMSCs/βTCP est réalisable pour les patients</p>

										présentant une fente alvéolaire, et le déplacement orthodontique des dents qui en découle
<p>Tooth movement out of the bony wall using augmented corticotomy with nonautogenous graft materials for bone regeneration</p> <p><i>Lee et al.</i> (105)</p>	<p>Expérimentation animale</p> <p>Etude prospective randomisée</p>	<p>Animal</p> <p>Beagle : n=6 chiens</p>	<p>Comparer les effets de la corticotomie sur différents matériaux de greffe non autogène combinés au déplacement orthodontique</p>	<p>1. Décortication côté vestibulaire</p> <p>2. Greffe osseuses : os minéral bovin déprotéiné ; os cortical irradié ; os synthétique</p> <p>3. Déplacement orthodontique immédiate</p>	<p>Prémolaires maxillaires</p>	<p>Greffon minéral bovin déprotéiné</p> <p>Os cortical irradié</p> <p>Os synthétique</p>	<p>C et PM4 comme ancrages orthodontiques</p> <p>Fil épais (ø 0,9mm) muni de crochets de traction soudé à la face vestibulaire des bandes de C et PM4</p> <p>Bouton lingual sur PM2 et PM3 avec force de 200g</p>	<p>6 semaines (suffisant pour former un nouvel os et induire un déplacement orthodontique dans la corticotomie augmentée)</p>	<p>Analyse histologique et histomorphométrique</p> <p>Mesure de la profondeur de poche et de l'épaisseur de tissus kératinisés (ETK)</p> <p>Analyse statistique</p>	<p>Pas de différence significative de la profondeur de poche, ni de l'ETK, ni du pourcentage de néo-os entre les groupes</p> <p>Tous les groupes avaient une grande quantité de néo-os côté pression</p> <p>Le « <i>angular change</i> » entre les groupes était significativement différent $p < 0,01$</p> <p>-> La corticotomie augmentée avec des matériaux de greffe non autogènes a facilité le déplacement orthodontique</p>

										de la dent sans fenestration, et a accéléré la formation de nouvel os côté pression
Effects of bone grafting, performed with corticotomies and buccal tooth movements, on dehiscence formation in dogs <i>Bare-Welchel et al.</i> (104)	Expérimentation animale Etude de cohorte prospective	Animal Beagle : n =7 chiens 2 groupes (droit/gauche) : corticotomie + greffe VS corticotomie sans greffe	Déterminer les effets de l'association corticotomie et greffe osseuse soumis au déplacement orthodontique sur la formation de déhiscences osseuses	1.Réalisation de corticotomies bilatérales 2.Mise en place de greffon côté test (greffe +) unilatéral 3.Expension vestibulaire de PM2 bilatérale	Prémolaires maxillaires	DFD allogreffe (allogreffe lyophilisé déminéralisé) et membrane de collagène résorbable	Bagues orthodontiques sur C, PM2 et PM4, sur mesure Brackets molaires avec une fente de 0,22pouce soudés sur les bagues Support de PM4 : décalage distal de 10, couple de 14, tube de tête de 0,045 pouce Support de C : décalage 0, couple 0, tube de fixation de tête de 0,051 pouce Brackets Damon Q pour PM maxillaires	9 semaines puis 3 semaines de consolidation	Mesure de profondeur de poche, perte d'attache et récession Mesures intra-orales et radiographiques des déplacements Mesure de l'os entourant les PM2 par tomographie Néof ormation osseuse analysée histologiquement Analyses statistiques	La greffe n'empêche pas la formation de déhiscences car seule une quantité limitée d'os nouveau est formée (plutôt en regard des apex) Déhiscences osseuses côtés test et contrôle ; plus importante sur racine mésiale de contrôle ($p=0,038$) Densité osseuse meilleure côté test ($p=0,028$) Côté test : apposition osseuse vestibulaire évidente, entourant les particules de

							(décalage 0, torque 11) utilisés sur les bagues de PM2			greffe ; particules de greffe minéralisées présentes en regard de l'apex
							Position plus vestibulaire de PM4 et C permet création d'un vecteur de force vestibulaire sur PM2 quand l'arc était engagé			Pas de différence significative d'expansion
A histological study on experimental tooth movement into bone induced by recombinant human bone morphogenetic protein-2 in beagle dogs <i>Kawamoto et al.</i> (91)	Expérimentation animale Etude de cohorte prospective	Animal Beagle : n=8 chiens	Evaluer le déplacement des dents dans le néo-os généré par la protéine morphogénétique osseuse humaine recombinante rhBMP-2 (dosage 40µg/100µL)	1. Avulsion PM1 maxillaires 2. M+1 : création de défauts standards 3. Division en 4 groupes : (1) rhBMP-2 + complexe d'éponges gélatineuses ; (2) greffe autologue d'os spongieux du tibia ; (3) : pas de greffe ; (4) groupe contrôle,	Prémolaires maxillaires	rhBMP-2 (40µg/100µL) ± complexe d'éponges gélatineuses os spongieux autologue tibia	Ressort à spirale fermée NiTi Forces 100g	2 mois ; PM2 mésialées de 2mm (mesure au pied à coulisse)	Analyse histologique et morphométrique du potentiel ostéoinducteur de rhBMP-2 et du déplacement orthodontique dans le néo-os	Néoformation osseuse importante avec rhBMP-2 et l'os autogène Surface de l'os généré par rhBMP-2 plus importante que l'os autogène (<i>statistiquement significatif</i>) Réponse histologique au déplacement orthodontique similaire entre les groupes

				<p>seulement avulsion</p> <p>4.Déplacement orthodontique 4 mois après la greffe : mésialisation de PM2 max</p> <p>5.Analyses histologique et morphométrique de chaque groupe</p>						<p>Résorption radiculaire au déplacement orthodontique côté pression chez rhBMP-2</p> <p>->rhBMP-2 comme alternative à l'os autogène ; nécessité d'études supplémentaires par rapport au déplacement orthodontique dans l'os généré par rhBMP-2</p>
<p>Experimental tooth movement into bone induced by recombinant human bone morphogenetic protein-2</p> <p><i>Kawamoto et al.</i></p> <p>(92)</p>	<p>Expérimentation animale</p> <p>Etude de cohorte prospective</p>	<p>Animal</p> <p>Beagle : n=8 chiens</p>	<p>Evaluer l'activité ostéoinductive de rhBMP-2 (faible dose 10mg/100mL) et la réponse biologique de l'os nouvellement généré à la stimulation orthodontique, par rapport aux résultats précédents utilisant rhBMP-2 à forte dose (40mg/100mL)</p>	<p>1.Avulsion PM1 maxillaires</p> <p>2.M+1 : création de défauts standards et mise en place immédiate de rhBMP-2 + complexe d'éponges gélatineuses</p> <p>4.Déplacement orthodontique 4 mois après la greffe :</p>	<p>Prémolaires maxillaires</p>	<p>rhBMP-2 (10mg/100 mL) + complexe d'éponges gélatineuses</p>	<p>Ressort à spirale fermée NiTi</p> <p>Forces 100g</p>	<p>2 mois ; PM2 mésialées de 2mm (mesure au pied à coulisse)</p>	<p>Analyse histologique et morphométrique du potentiel ostéoinducteur de rhBMP-2 et du déplacement orthodontique dans le néo-os</p>	<p>Différences histologiques et morphométriques dans l'évolution du remodelage osseux selon le dosage de rhBMP-2</p> <p>Remodelage osseux plus précoce avec rhBMP-2 à faible dose (<i>résultats significatifs</i>)</p>

				<p>mésialisation de PM2 max (1) pas de déplacement orthodontique ; (2) déplacement orthodontique dans le néo-os généré par rhBMP-2</p> <p>5. Analyses histologique et morphométrique de chaque groupe</p>						<p>Résorption partielle du ciment côté pression avec rhBMP-2 à faible dose</p> <p>Le dosage approprié de rhBMP-2 doit être déterminé pour une application clinique réussie</p>
<p>Movement of periodontally affected teeth after Guided Tissue Regeneration (GTR) – an experimental pilot study in dogs</p> <p><i>Diedrich et al.</i></p> <p>(100)</p>	<p>Expérimentation animale</p> <p>Etude de cohorte prospective</p>	<p>Animal</p> <p>Chiens de chasse ; n=4</p>	<p>Evaluer l'effet de la thérapeutique parodontale sur le déplacement orthodontique</p>	<p>1. Avulsion PM3 max et mdb</p> <p>2. Création de 64 défauts 3 parois en mésial et distal de PM1 (contrôle) et PM2 (test)</p> <p>3. Colonisation des défauts par des micro-organismes parodontopathogènes</p> <p>4. Nettoyage des défauts et RTG 6 mois après</p>	<p>Prémolaires maxillaires et mandibulaires</p>	<p>RTG : Emdogain® (protéines de la matrice amélaire) + membrane résorbable Vicryl®</p>	<p>Intrusion orthodontique 50 cN ; arc d'intrusion TMA® de 0,016x0,022</p> <p>Translation 200cN ; ressorts de traction fixés sur des mini-implants</p> <p>Déplacement physiologique</p>	<p>6 mois</p>	<p>Analyse histologique qualitative</p>	<p>Régénération parodontale étendue sur le groupe témoin, côté tension et a/n des segments radiculaires des zones d'intrusion</p> <p>La régénération parodontale améliore les conditions de déplacement orthodontique des dents avec perte d'attache</p>

<i>Référence article</i>	<i>Type d'article</i>	<i>Humain / Animal</i>	<i>But de l'étude</i>	<i>Méthode</i>	<i>Site anatomique</i>	<i>Biomatériau</i>	<i>Méthode orthodontique</i>	<i>Temps de traitement</i>	<i>Méthode analyse résultats</i>	<i>Conclusion</i>
				5.1 mois après la RTG : intrusion de 8 PM2 ; distalisation et mésialisation de 8 PM (dans le défaut, zone de pression ; hors du défaut, zone de tension) 6. Analyse des résultats						
Histological evaluation of human intrabony periodontal defects treated with Demineralized Bovine Bone Mineral in combination with orthodontic tooth movement: a case series <i>Nagy et al.</i>	Série de cas	Homme : n=3 1 contrôle (pas de déplacement orthodontique) , 2 tests	Mettre en évidence l'impact des modalités de déplacement orthodontique précoce sur le schéma de guérison intrinsèque des défauts intra-osseux défavorables	1.Mesures cliniques 2.RTG : Bio-Gide® + Bio-Oss® et suture double matelassier 3.Déplacement orthodontique à J10 4.Retrait sutures à J14 5.Mesures clinique et histologique	Molaires maxillaires et mandibulaires	Technique RTG : DBBM Bio-Oss® Membrane bicouche résorbable collagène natif BioGide®	Appareil orthodontique multi-attaches Fil rond de NiTi 0,014, avec un fil de recouvrement en acier inoxydable 0,016 x 0,016 afin de fixer les dents voisines Déplacement orthodontique vers le défaut parodontal Déplacement doux et continu	9 mois	Analyse à J0 et à M+9. Mesures cliniques de profondeur de poche, récession gingivale et niveau d'attache clinique. Analyses histologique et histomorphométrique du site greffé	Pas de complications pendant cicatrisation osseuse. Remplissage osseux chez T1 et T2 plus important que chez C. RTG + déplacement orthodontique précoce ont amélioré les conditions parodontales durant le déplacement orthodontique.

(107)										<p>Preuve histologique de la résorption du Bio-Oss® par déplacement orthodontique. Résorption de Bio-Oss® et néoformation osseuse plus importantes chez T1 et T2, grâce au déplacement orthodontique et remodelage osseux.</p> <p>Déplacement orthodontique précoce ne compromet pas cicatrisation parodontale, ni nouvel attachement. Résorption du Bio-Oss® accélérée par Déplacement orthodontique permet stabilité à long terme des sites greffés.</p>
Bio-Oss collagen and	Série de cas	Homme : n=3 patients	Evaluer la possibilité de déplacer	1.Mesures cliniques et radiologiques	Incisives centrales maxillaires	Bio-Oss® collagen mélangé à	2 patients: arc sectionnel cantilevers et	Déplacement orthodonti	Mesures cliniques de profondeur de	Efficacité de l'approche combinée ortho-

orthodontic movement for the treatment of intrabony defects in the esthetic zone <i>Cardaropoli et al.</i> (106)			orthodontiquement des dents qui ont migré au travers de défauts intra-osseux augmenté par un biomatériau	2.Retrait du tissu de granulation et surfaçage ; comblement osseux par le Bio-Oss® collagen 3.Déplacement orthodontique à S+2 ; pendant 4 à 9 mois 4.Dépose orthodontie et mise en place contention 13-23 : contention composite pour P1, contention métal pour P2, fil métallique pour P3 5.Mesures cliniques et radiologiques 6 mois après la fin du traitement		une solution saline	d'intrusion orthodontique 1 patient : système multi-attache Déplacement physiologique ; forces douces et continues	que à S2 au travers du défaut osseux Déplacement orthodontique pendant 6 mois pour P1, 9 mois pour P2, 4 mois pour P3 Force continue physiologique	poche et du niveau d'attache parodontale Mesure radiologique de pertes osseuses horizontale et verticale	paro sur la fermeture du diastème inter incisif Réduction de la profondeur de poche à des valeurs physiologiques, gain d'attache, résolution radio des défauts, gain osseux horizontal et vertical <i>p value non renseignée</i> Aucun effet néfaste du mouvement orthodontique n'a été observé sur le matériau d'augmentation <i>*résultats encourageants, mais des recherches plus poussées sont nécessaires</i>
Accelerated osteogenic orthodontics	Série de cas	Homme	Evaluer si la combinaison déplacement orthodontique +	1.Mise en place du système de déplacement orthodontique	Antérieur mandibulaire et maxillaire	DFDB	<i>Non Renseigné</i>	<i>Non Renseigné</i>	Analyses radiologique et morphologique	La combinaison orthodontie/corticotomie permet un déplacement

<p>technique: a 1-stage surgically facilitated rapid orthodontic technique with alveolar augmentation</p> <p><i>Wilcko, et al.</i></p> <p>(110)</p>			<p>corticotomie + greffe est efficace pour prévenir les déhiscences osseuses</p>	<p>2.Réalisation de corticotomies le long des racines</p> <p>3.Dépôt de DFDB sur les corticotomies</p> <p>4.Activation du système de déplacement orthodontique</p> <p>5.Rappel des patients entre 19 et 60 mois après l'orthodontie et collecte de données</p>						<p>important des dents avec des dommages parodontaux cliniques minimes</p> <p>Des déhiscences et fenêtres osseuses étaient toujours présentes à la fin de la période de suivi</p> <p>Résultats en désaccord avec les rapports cliniques précédents : réévaluer le protocole chirurgical décrit lors du traitement de la zone des incisives</p>
<p>Clinical and Radiographic Evaluation of Bone Grafting in Corticotomy-facilitated Orthodontics in Adults</p> <p><i>Shoreibah et al.</i></p>	<p>Série de cas</p>	<p>Homme</p>	<p>Evaluer l'effet de la corticotomie sur les cas combinés greffe et déplacement orthodontique, en utilisant la technique de corticotomie conventionnelle modifiée</p>	<p>1.Groupe I : Corticotomie modifiée – Orthodontie Groupe II : corticotomie modifiée – Orthodontie – greffe osseuse</p> <p>2.Chirurgie et évaluation des</p>	<p>Antérieur mandibulaire</p>	<p>Bioverre</p>	<p>Arc NiTi de 0,012, 0,014, 0,016 et 0,018 pouces de diamètre</p> <p>Arcs en acier inoxydable jusqu'à 0,019x0,025 pouces pour la finition</p>	<p>Traitement de 14 à 20 semaines</p> <p>Groupe I : moyenne de 17 semaines</p> <p>Groupe II : moyenne</p>	<p>Analyse clinique et radiologique</p>	<p>Réduction significative de la durée totale du traitement grâce à la combinaison corticotomie-orthodontie.</p> <p>Réduction de l'incidence de résorption radiculaire</p>

(109)				paramètres cliniques 3. Déplacement orthodontique immédiat 4.6 mois après le traitement : évaluation des paramètres cliniques			Ajustement toutes les 2 semaines. Brackets préajustés à collage direct (0,022 x 0,028 pouces) de 34 à 44 L'appareil n'a pas été activé en pré-chirurgie	de 16,67 semaines Pas de différence significative dans le temps de traitement entre les deux groupes		apicale et des problèmes parodontaux associés aux déplacements orthodontiques. Augmentation significative de la densité de l'os alvéolaire grâce à l'incorporation d'un greffon.
The Effects of Maxillary Expansion on Late Alveolar Bone Grafting in Patients with Unilateral Cleft Lip and Palate <i>Uzel et al.</i> (108)	Essai clinique prospectif Etude de cohorte prospective	Homme : n=30 n=15 / groupe	Savoir si l'expansion maxillaire fournit une stimulation post-greffe suffisante pour diminuer la perte de volume des greffes d'os alvéolaire chez les patients atteints de fente labiale et palatine Savoir si l'inversion de la séquence de traitement conventionnel peut diminuer la perte de volume	1. G1 : expansion maxillaire lente avant greffe osseuse G2 : expansion maxillaire lente 6 semaines après greffe osseuse 2. Analyse des résultats 3. Analyse statistique	Fente alvéolaire maxillaire	Os autogène de la crête iliaque	Quad Hélix Fils d'acier rond 0,9mm à travers les cuspides vestibulaires des dents postérieures Plusieurs activations : dès le retrait du modèle en plâtre ; toutes les 4 semaines	Expansion maxillaire G1 : 3-7 mois Expansion maxillaire G2 : 4-8 mois	Prise d'images de tomographie informatisées à S+1, M+6 et M+12 après la greffe Volume et densité alvéolaire mesurés par le logiciel Mimics 13.1 Analyse statistique par le logiciel SPSS 19.0	Moins de perte osseuse chez G2 ($p=0,03$) et plus grande densité osseuse chez G2 ($p=0,017$) après 6 mois de cicatrisation Moins de perte osseuse chez G2 et plus grande densité osseuse chez G2 après 12 mois de cicatrisation (<i>non significatif</i>) L'expansion maxillaire après greffe osseuse

			osseux des greffes alvéolaires chez les patients atteints de CLP							alvéolaire peut-être prise comme un traitement de choix
Regenerative therapy of osseous defects combined with orthodontic tooth movement <i>Attia et al. (62)</i>	Série de cas	Homme n=15 patients avec 45 défauts osseux (15x3 défauts) 3 groupes	Evaluer l'efficacité des différents temps d'activation de l'orthodontie sur le potentiel de régénération d'un défaut infra-osseux après une greffe osseuse	1. Répartition en 3 groupes : déplacement orthodontique immédiat selon les 3 défauts 2. Surfaçage et retrait des tissus de granulation 3. Greffe osseuse et déplacement orthodontique immédiat (G1) ou retardée (M+2) (G2) (groupes T) ; greffe osseuse seule (G3) (groupe C)	Différents secteurs maxillaires et mandibulaire, antérieur et postérieur	Bioverre Membrane Biocollagène	Technique de l'arc segmenté (<i>segmented arch technique</i>) Arc labial Force douce et continue ; 10g à 15g par dent	<i>Non Renseigné</i>	Mesure clinique et histologique des tissus mous et durs au début de l'expérience, à M+6 et à M+12 : profondeur de poche, niveau d'attache parodontale, densité osseuse, remplissage osseux	Déplacement orthodontique immédiat a eu les résultats les plus importants (<i>résultats significatifs</i>) cliniquement et radiologiquement
<i>Référence article</i>	<i>Type d'article</i>	<i>Humain / Animal</i>	<i>But de l'étude</i>	<i>Méthode</i>	<i>Site anatomique</i>	<i>Biomatériau</i>	<i>Méthode orthodontique</i>	<i>Temps de traitement</i>	<i>Méthode analyse résultats</i>	<i>Conclusion</i>
Guided tissue regeneration and orthodontics. A review of literature	Revue systématique de la littérature	Homme & animal 82 patients sur 17 articles matériaux de greffe osseuse	Savoir si et comment les patients nécessitant RTG et déplacement orthodontique peuvent être traités	<i>Non Renseigné</i>	<i>Non Renseigné</i>	Matériau de greffe osseuse Facteurs de croissance	<i>Non Renseigné</i>	<i>Non Renseigné</i>	Recherche manuelle à travers la bibliographie des résultats PubMed	Les traitements combinés ortho-paro sont possibles et ont des résultats prometteurs. Mais nécessité d'études

<p><i>Reichert et al.</i> (111)</p>		<p>10 patients sur 2 articles avec des facteurs de croissance</p> <p>12 patients sur 7 articles avec des membranes (RTG)</p> <p>6 patients sur 3 articles avec des dérivés de matrice amélaire</p> <p>8 patients sur 2 articles avec de la colle de fibrine</p>	<p>Savoir si et dans quelle mesure le déplacement orthodontique est possible dans les zones régénérées précédemment</p>			<p>Membranes (RTG)</p> <p>Dérivés de matrice amélaire (EMD)</p> <p>Colle de fibrine (Tissucol, Bio-Oss® collagen)</p>				<p>complémentaires pour identifier et réduire les risques et offrir au patient une plus grande sécurité durant le déplacement orthodontique</p>
<p>The impact of nonautogenous bone graft on orthodontic movement</p> <p><i>Reichert et al.</i> (112)</p>	<p>Revue systématique de la littérature</p>	<p>Homme & Animal</p>	<p>Evaluer les indications, les problèmes et les limites des traitements interdisciplinaires (orthodontico-chirurgical) chez les patients traités par des matériaux non autogènes</p>	<p>Recherche dans la base de données PubMed, et la <i>Cochrane Library</i></p> <p>Recherche manuelle</p>	<p><i>Non Renseigné</i></p>	<p>Allogreffes</p> <p>Bioverres</p> <p>Hydroxyapatite</p> <p>αTCP et βTCP</p>	<p><i>Non Renseigné</i></p>	<p><i>Non Renseigné</i></p>	<p><i>Non Renseigné</i></p>	<p>Allogreffes : attributs semblables à autogreffe ; déplacement orthodontique ultérieur sans soucis, a conduit à un os normal cliniquement, résultats encourageants pour mouvements et éruption dentaire</p>

										<p>Xéno greffes : attributs semblables à autogreffe ; résultats encourageants pour mouvements et éruption dentaire</p> <p>Matériaux organiques : petit risque d'infection tel que VIH ou prions</p> <p>Bioverres : risque encapsulation par le tissu conjonctif et sortie par les tissus mous</p> <p>Hydroxyapatite : résultats controversés, sans doute à cause de l'hétérogénéité des HA disponibles ; non recommandé avant déplacement orthodontique</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

										<p>car risque de malformation dentaire, résorption radiculaire, ou stagnation du mouvement dentaire</p> <p>TCP : résultats encourageants pour mouvements et éruption dentaire ; βTCP peut être totalement résorbé et a une meilleure dégradation que αTCP et HA ; tous les rapports montrent que le déplacement orthodontique est possible dans les zones greffées par le βTCP (sauf 1 étude où légère résorption radiculaire)</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

3. Discussion

La principale difficulté concernant l'élaboration d'une équation de recherche sur le sujet de l'emploi des greffes osseuses et de l'orthodontie comme techniques de régénération parodontale pré-implantaire réside dans le fait que peu d'articles répondent de manière précise au sujet.

Il a donc fallu multiplier les recherches, dans une même base de données, avec plusieurs combinaisons de mots-clés, de sorte à être sûr de prendre en compte l'ensemble des articles traitants notre sujet.

Dans la plupart des articles, les auteurs rapportent un faible niveau de preuve des résultats avancés. En effet, du fait d'un trop petit échantillon, les résultats ne sont pas toujours extrapolables à l'homme. De plus, la plupart des expériences animales sont menées sur des animaux qui n'ont pas forcément les mêmes comportements biologiques que l'homme.

Même les revues de littératures trouvées (111,112) mentionnent également leur faible niveau de preuve et recommandent la mise en place de recherche plus poussées ou menées sur de plus grands échantillons, afin que les résultats puissent être plus représentatifs de la population humaine, et les conclusions basées sur des données scientifiques fiables.

Il en est donc de même pour l'actuelle revue de littérature : il faudrait qu'elle soit complétée par des essais cliniques randomisés afin d'apporter un plus haut niveau de preuve aux conclusions énoncées.

L'analyse des résultats des études répondant aux critères de recherche a malgré tout permis quelques conclusions sur les points essentiels des thérapeutiques pré-implantaires ortho-parodontales. Nous avons pu faire ressortir plusieurs points, à savoir :

- L'indication du matériau de greffe osseuse le plus favorable pour le déplacement orthodontique
- Les limites du déplacement orthodontique dans l'os greffé
- Le rapport chronologique entre la greffe osseuse et le déplacement orthodontique
- Savoir si le déplacement orthodontique pourrait remplacer la greffe osseuse pré-implantaire dans certaines situations cliniques

Enfin, à partir de ces conclusions, nous avons pu établir les grandes lignes d'un protocole dans les cas de thérapeutique pré-implantaires ortho-parodontales.

3.1. Biais de la présente étude

Le principal biais rencontré dans ce travail est l'existence d'un seul opérateur pour les recherches bibliographiques. De plus, la majorité des articles étudiés présentent un faible niveau de preuve car il s'agit d'études expérimentales ou de séries de cas.

3.2. Indications et limites du déplacement orthodontique dans l'os greffé

Toutes les études analysées attestent que le déplacement orthodontique dans l'os greffé est réalisable et conduit à des résultats satisfaisants. Plusieurs études ont conclu que la présence de greffes osseuses sur les sites d'extraction améliore significativement la forme et la qualité de l'os alvéolaire, facilitant le déplacement orthodontique ultérieur. La greffe stimule la fabrication osseuse par ostéoinduction, ostéoconduction et/ou ostéogénèse et facilite le déplacement orthodontique (87,88,93,99,113-117).

Aussi bien une simple greffe pré-orthodontique qu'une RTG pré-orthodontique (107,116,118-120) améliorent les conditions de déplacement orthodontiques dans un parodonte réduit (119-123).

Il semblerait que le déplacement orthodontique dans un os spongieux soit moins dommageable et aide à éviter la récession gingivale par rapport à un déplacement orthodontique seul (87,88,93,99,113,114,116,124).

3.3. Meilleur biomatériau pour le déplacement orthodontique

Le déplacement orthodontique peut se faire dans un milieu parodontal réduit, mais ne doit pas se faire en présence d'infection. En revanche, dans le cadre d'une thérapeutique pré-implantaire, en plus d'un parodonte sain, le niveau osseux doit être suffisant dans les trois plans de l'espace afin que l'implant puisse avoir un taux de succès le plus longtemps possible. C'est pourquoi il convient de connaître le substitut osseux le plus favorable aux déplacements orthodontiques.

Chez l'homme comme chez l'animal, la plupart des auteurs appuient le fait que la greffe osseuse pré-orthodontique permet d'améliorer le déplacement dentaire (87).

- **Homme**

Chez l'homme, bien qu'il n'existe pas à l'heure actuelle d'étude comparative exhaustive sur l'efficacité d'un déplacement orthodontique au travers d'une zone traitée préalablement par RTG ou par simple utilisation de substitut osseux, il est reconnu que la combinaison de traitements parodontal et déplacement orthodontique a des résultats prometteurs de manière générale, quel que soit le biomatériau utilisé (111).

Un des substituts osseux les plus largement employés est le Bio-Oss®. Chez l'homme, la combinaison de régénération parodontale utilisant du Bio-Oss® et d'un traitement orthodontique sur la fermeture du diastème inter-incisif conduit à des résultats favorables, quel que soit le système orthodontique utilisé : aucun résultat néfaste du mouvement orthodontique sur le biomatériau n'a été observé (p value non renseignée) (106). Une étude menée par Lee et al. entre 2004 et 2005 sur 20 patients a montré la fiabilité et l'efficacité du Bio-Oss® par rapport à deux autres substituts osseux allogéniques. En effet, il présentait le taux le plus important en termes de néoformation osseuse et le taux le moins important de tissus fibreux. De plus, le Bio-Oss® présentait plus de contacts entre ses particules et l'os néoformé (125). Le Bio-Oss® présente une résorption lente qui permet un meilleur maintien du volume osseux, contrairement aux substituts allogéniques qui sont résorbés plus rapidement : c'est pourquoi il est plus conseillé d'avoir recours au Bio-Oss® pour les pertes osseuses importantes (27).

➔ Peu d'études sont menées exclusivement chez l'homme. Mais le Bio-Oss® reste le substitut le plus largement utilisé, avec des résultats favorables.

- **Homme et animal**

Chez l'animal comme chez l'homme, et pour la plupart des études, soumettre une zone préalablement greffée à un déplacement orthodontique conduit à des résultats cliniques et histologiques plus satisfaisants que de soumettre une zone de cicatrisation spontanée au déplacement orthodontique (88,89,95,101,111). Seule une étude menée chez l'animal présente des résultats moins bons avec le Bio-Oss® qu'avec une cicatrisation spontanée lorsque celui-ci est soumis à un déplacement orthodontique (96).

Une revue de littérature portant sur l'homme et l'animal a permis de conclure que l'allogreffe présente des attributs semblables à l'autogreffe concernant le déplacement orthodontique : elle conduit à un os normal cliniquement (112).

Toujours d'après cette revue de littérature, les hydroxyapatites HA présentent des résultats controversés, sans doute à cause de l'hétérogénéité des HA disponibles : elles sont, dans l'ensemble, non recommandées avant un déplacement orthodontique car il y a un risque de résorption radiculaire, ou de blocage du mouvement dentaire (112).

Pour ce qui est des TCP, les résultats sont encourageants. Le β TCP peut être totalement résorbé et a une

meilleure dégradation que l'PHA ou même que l' α TCP. Tous les rapports étudiés dans cette revue de littérature montrent que le déplacement orthodontique est possible dans les zones précédemment greffées par le β TCP (sauf 1 étude qui soulevait une légère résorption radiculaire). (112)

- ➔ Dans les revues de littérature étudiant les données chez l'homme et l'animal, le Bio-Oss® largement étudié présente des résultats plus favorables que pour une cicatrisation spontanée, à la fois cliniquement et histologiquement. De plus, le fait de réaliser un déplacement orthodontique au travers d'une zone greffée par du Bio-Oss® permet d'obtenir des résultats probants plus rapidement qu'une zone greffée par du Bio-Oss® qui ne serait pas soumise au déplacement orthodontique.

- ➔ De même, l'allogreffe présente des résultats similaires à l'autogreffe.

- ➔ En revanche, l'utilisation d'Hydroxyapatite n'est pas recommandée, contrairement au β TCP qui dans de nombreuses études présente des résultats probants

- **Animal**

Chez les mini-porcs, l'usage du Gen-Tech (substitut xénogène : matrice corticale d'origine bovine déminéralisée, mélangée à de l'PHA granulaire, du collagène et de facteurs de croissance BMP) permet de manière statistiquement significative d'obtenir de bons résultats cliniques (pas de perte de hauteur de crête, pas de dommage radiculaire), et a presque entièrement été remplacé par de l'os à l'issue du déplacement orthodontique. Il y a également une plus grande densité de l'os néoformé avec Gen-Tech, bien que le résultat ne soit pas statistiquement significatif (87).

Chez l'animal, il a été démontré que la zone comblée par le Bio-Oss® (xénogène) présente plus d'os néoformé minéralisé que la zone de cicatrisation spontanée. Soumis au déplacement orthodontique, il agit comme un échafaudage pour le dépôt d'os et évite ainsi l'étape supplémentaire d'une occupation par de la moelle osseuse (p value non renseignée). A terme identique, soumettre le Bio-Oss® au déplacement orthodontique permet également d'obtenir une meilleure qualité d'os que s'il ne l'était pas (88,94).

En revanche, pour le β TCP (synthétique), les avis sont contraires selon les études. Selon Sheats et al. dans une étude menée chez le chat, le β TCP n'affecte pas le déplacement orthodontique de manière significative par rapport à une zone de cicatrisation spontanée : il peut donc être utilisé dans les cas où le déplacement orthodontique pourrait être compromis par la perte osseuse alvéolaire post-extractionnelle (101). Une autre étude menée chez le chien beagle démontre de manière non significative que le β TCP soumis au déplacement orthodontique présente une dégradation plus importante que l'os autogène, ainsi qu'un moins grand taux de résorption osseuse (95). A contrario, toujours chez l'animal (étude menée chez la souris), Klein et al. ont conclu que le β TCP altère significativement le déplacement orthodontique par rapport à la cicatrisation spontanée. Cependant, l'auteur tempère ses conclusions par le fait que l'étude soit menée sur de petits animaux : il est donc difficile d'extrapoler les conclusions à l'homme à cause des différences biologiques, anatomiques, et physiologiques (89).

Le β TCP peut être combiné à des cellules souches de la moelle osseuse bMSCs (bone marrow Mesenchymal Stem Cells). Chez le beagle, cette combinaison présente des résultats très satisfaisants d'un point de vue histologique : elle favorise la néoformation osseuse et sa minéralisation et permet d'obtenir une hauteur alvéolaire plus importante que par l'utilisation de β TCP seul, de manière significative. L'effet global de cette combinaison de matériaux présente des résultats comparables à l'autogreffe.(93)

D'après une étude menée chez le chien beagle, l'utilisation de CSM (cellules souches mésenchymateuses) peut être une modalité de traitement pour les régénérations osseuses chez les patients atteints de fentes : les

déplacements dentaires dans les zones greffées présentent un taux de déplacement constant, contre un taux de déplacement variable dans le cas de déplacement dans des zones de cicatrisation spontanée (90).

Une autre étude menée chez le chien beagle permet de conclure que le rhBMP-2 peut-être une alternative à l'os autogène comme matériau de greffe, et que celui-ci n'entrave pas le déplacement orthodontique en son sein. En revanche, il serait nécessaire de réaliser des études plus approfondies sur le déplacement orthodontique au sein de l'os généré par rhBMP-2 (91). Il est nécessaire de poursuivre les recherches afin d'adapter au mieux le dosage nécessaire pour une application clinique réussie. En effet, à faible dose de rhBMP-2, le remodelage osseux est significativement plus précoce. En revanche, côté pression, on peut observer une résorption radiculaire, à la fois à faible dose et à forte dose de rh-BMP2, bien qu'elle soit moins importante à faible dose de rhBMP-2. De plus, des différences histomorphométriques importantes dans l'évolution du remodelage osseux selon les doses de rhBMP-2 ont été observées (92).

Il semblerait que, bien qu'il conduise à moins de résorption radiculaire qu'en l'absence de matériau de greffe, le substitut osseux BoneCeramic® (substitut alloplastique composé de 60% HA, 40% β TCP) employé chez le rat ralentit le déplacement orthodontique (96).

Toujours chez le beagle, le BioCaP (substitut synthétique : Phosphate de Calcium + BMP-2) a également favorisé la régénération osseuse et la guérison des défauts alvéolaires sans entraver le déplacement orthodontique, et ce de manière statistiquement significative. BioCaP est donc considéré comme un matériau de comblement osseux bioactif et fonctionnel pour les défauts alvéolaires pendant le déplacement orthodontique (98).

Chez le rat, Maxresorb® (synthétique) présente un faible taux d'os néoformé par rapport à l'autogreffe et est peu résorbé, contrairement à Maxgraft (xénogène), qui a un meilleur taux d'os néoformé que l'autogreffe. L'auteur constate une similitude de résultats entre Maxgraft® et l'autogreffe : il atteste qu'après amélioration par ingénierie tissulaire, ils pourraient devenir une alternative à l'autogreffe (57).

- ➔ Le plus grand nombre d'études repose sur les animaux. Les résultats ne sont pas forcément extrapolables à l'homme. Elles permettent au minimum de savoir ce qui ne serait pas réalisable chez l'homme, mais elles n'assurent pas nécessairement la faisabilité chez ce dernier si l'expérience est concluante chez l'animal.
- ➔ Tout comme dans les études menées chez l'homme et les revues de littératures menées chez l'homme et l'animal, le Bio-Oss® présente des résultats concluants mise à part une seule étude. Les résultats de la soumission du Bio-Oss® au déplacement orthodontique ne sont donc plus à prouver.
- ➔ Les résultats d'études menées sur le Gen-Tech sont également prometteurs.
- ➔ Les résultats du β TCP ne vont pas tous dans le même sens : il faut donc attendre que d'autres études soient menées par rapport à ce matériau pour établir une conclusion définitive. En revanche, la combinaison β TCP-cellules mésenchymateuses offre des résultats concluants de manière significative.
- ➔ L'emploi simple de cellules mésenchymateuses présente également des résultats prometteurs qui nécessiteraient une recherche plus poussée.
- ➔ BioCap® présente des résultats positifs de manière statistiquement significative à la fois pour le comblement alvéolaire et pour le déplacement orthodontique
- ➔ BoneCeramic® ne présente pas de résultats très favorables : il bloque le déplacement orthodontique.
- ➔ Le substitut xénogène Maxgraft® présente des résultats prometteurs mais nécessite une amélioration par ingénierie tissulaire.

3.4. Meilleur moment du déplacement orthodontique par rapport à la greffe

Les auteurs s'accordent sur le fait que la greffe osseuse doit être suivie du déplacement orthodontique, et non l'inverse ! En effet, le déplacement orthodontique est le principal facteur capable d'influencer les mécanismes biologiques responsables du remodelage de la greffe ; réalisé peu de temps après la greffe, il permet une régénération osseuse plus importante (107). Le déplacement orthodontique n'est donc pas préjudiciable vis-à-vis de la régénération parodontale préalable (94,97).

En revanche, selon les études, les recommandations sur l'emploi d'un déplacement orthodontique immédiat ou précoce diffèrent. Dans tous les cas, un déplacement orthodontique tardif n'est pas préconisé car il conduit à des résultats moins favorables qu'un déplacement immédiat ou précoce (107,126,127). Certains auteurs vont même jusqu'à dire que le déplacement orthodontique immédiat induirait de manière significative un gain d'attache supérieur (62).

Le déplacement orthodontique précoce après chirurgie de régénération parodontale n'en compromet pas la cicatrisation, ni la formation d'un nouvel attachement. D'après les études d'Y. Klein menées sur des souris et selon ce qu'il nomme l'*ABR experiment (Alveolar Bone Regeneration experiment)*, une attente de quatre semaines de cicatrisation parodontale après la greffe osseuse permet des résultats optimaux (89,107,118,128).

Chez l'homme, Nagy et al. préconisent d'attendre deux semaines entre le moment de la greffe et le déplacement orthodontique car ces deux semaines correspondent à la phase la plus sensible de la cicatrisation – phase de l'inflammation - au cours de laquelle il peut y avoir beaucoup de défaillances ; à partir de deux semaines, on rentre dans la phase de régénération où il y a moins de risques de mise en péril de la greffe par l'orthodontie (107).

Le déplacement orthodontique immédiat combiné à une greffe osseuse permet également d'obtenir de bons résultats de cicatrisation : d'après les études animales réalisées, il permet une augmentation du nombre de trabécules et de la surface osseuse totale par rapport à un déplacement orthodontique précoce (S+2), tardive, ou une absence de déplacement orthodontique (95,99,102).

En revanche, chez l'homme, une étude présente des résultats non favorables au déplacement orthodontique immédiat : la meilleure néoformation osseuse est trouvée dans le cas d'un déplacement orthodontique réalisé quatre semaines après la greffe osseuse (résultats statistiquement significatifs) (103).

Peu d'études poussent le suivi des patients ou des animaux pour étudier la possibilité d'une récurrence après le traitement orthodontique. Beyer et al. par exemple ont démontré qu'il y avait parfois une résorption osseuse à la fin du déplacement orthodontique, et avant la mise en place de l'implant : c'est pourquoi Beyer préconise de repousser l'orthodontie le plus tard possible, quand le patient est suffisamment âgé pour la mise en place de l'implant (129). A contrario, d'autres disent que l'os est suffisamment stable à long terme et que l'âge du patient n'est pas crucial dans la décision du temps de traitement (130,131).

En revanche, la durée nécessaire de le déplacement orthodontique n'a pas encore réellement été étudiée (116).

Les cas d'expansion maxillaire présentent également des résultats plus favorables si les greffes sont réalisées avant le déplacement orthodontique, et ce de manière statistiquement significative. L'expansion maxillaire après greffe osseuse alvéolaire est donc un traitement de choix (102).

3.5. Le déplacement orthodontique permettrait-il d'éviter la greffe ?

- **Pas de déplacement orthodontique seul !**

La plupart des auteurs s'accordent sur le fait que le déplacement orthodontique seul ne permet pas une régénération osseuse suffisante pour une implantation ultérieure.

- **Pas de déplacement orthodontique sur un parodonte inflammatoire**

Dans un premier temps, ils s'accordent sur le fait qu'avoir recours à un déplacement orthodontique seul sur un parodonte inflammatoire entretient et accélère le phénomène inflammatoire (126).

D'un point de vue histologique, le déplacement orthodontique seul sur un parodonte défaillant conduit à la formation d'une grande attache épithéliale au détriment d'une néoformation osseuse : c'est pourquoi il est important de s'assurer de présence et de la santé parodontale avant de déplacer des dents orthodontiquement (118).

- **Pas (toujours) d'amélioration par déplacement orthodontique seul, même sur un parodonte réduit et sain**

Les avis divergent quant aux effets du déplacement orthodontique sur un parodonte réduit et sain. Certains auteurs attestent que le déplacement orthodontique sur un parodonte réduit et sain n'entraîne pas de perte d'attache plus importante (132,133). D'autres affirment que le déplacement orthodontique seul n'a pas d'effet bénéfique sur le système d'attache (62,120,134–136). Dans tous les cas, cela confirme l'idée qu'il est nécessaire d'associer le déplacement orthodontique à une régénération osseuse préalable (100) : le recours au déplacement orthodontique seul pour corriger les défauts parodontaux n'est pas démontré, qu'il s'agisse de lésions infra-osseuses, inter-radicales ou encore de récessions (80,136).

Certains auteurs affirment que, pour les lésions infra-osseuses, même si l'inflammation et l'infection sont contrôlées, la balance osseuse est négative et il est nécessaire de favoriser l'apposition osseuse par le recours aux substituts osseux qui augmenteront le gain osseux et permettront le déplacement orthodontique (126). D'autres ajoutent que dans le cas d'un déplacement au sein même d'une lésion infra-osseuse, il est nécessaire de réparer le défaut avant de réaliser le déplacement orthodontique (126). Selon une étude menée par Attia et al., les lésions infra-osseuses traitées par un substitut osseux puis par déplacement orthodontique ont un gain d'attache supérieur (62).

L'orthodontie associée à un traitement parodontal préliminaire permet d'améliorer les résultats esthétiques et fonctionnels de l'implantologie (127) car elle permet d'obtenir de meilleurs résultats cliniques et histologiques (100). La régénération parodontale préalable améliore également les conditions de déplacement orthodontique des dents avec perte d'attache.

- **Effet histologique du déplacement orthodontique sur la greffe**

En effet, histologiquement, le déplacement orthodontique dans une zone préalablement greffée permet une augmentation de la résorption active du biomatériau, et une stabilité à long terme des sites greffés. Il permet également une plus grande augmentation alvéolaire verticale et un moins grand risque de déhiscences et résorption apicale. (94,99,107,120). Il permet aussi une meilleure qualité histologique de l'os néoformé (95), ainsi qu'un plus grand gain de l'attache osseuse (121,122,137). Même pour des situations cliniques de petits manques osseux, les greffes osseuses sont combinées aux traitements orthodontiques afin d'assurer le résultat le plus durable et le plus satisfaisant (106).

Ainsi, nous pouvons affirmer que la combinaison greffe osseuse et déplacement orthodontique peuvent être utilisés pour rétablir un volume osseux adéquat (121,122,137).

- **Influence du ligament alvéolo-dentaire sur le remodelage osseux : importance de le régénérer avant tout déplacement orthodontique**

Le mécanisme et le bénéfice du remodelage osseux induit par le déplacement orthodontique est lié à la présence du ligament alvéolo-dentaire : c'est pourquoi il est nécessaire de régénérer le desmodonte perdu avant les déplacements dentaires (62,111,118).

Le tissu desmodontal joue également un rôle majeur dans la préservation de la racine contre l'ankylose ou la résorption lors du déplacement orthodontique (138).

- **Influence du ligament alvéolo-dentaire sur le remodelage de la greffe**

Pour certains auteurs, l'impact précis du ligament alvéolo-dentaire sur les changements morphologiques d'une zone greffée soumise à un déplacement dentaire n'est pas bien connu (111,118).

D'autres en revanche affirment que la formation d'os autour des particules de substitut osseux est liée à la formation de nouveau ciment à partir du ligament alvéolo-dentaire : le remodelage de la particule osseuse est simultané avec la formation d'une nouvelle attache (139).

Il est important d'employer dans tous les cas des forces douces et continues, physiologiques (80,127) car la qualité du résultat étant liée au desmodonte, il est important de déplacer la dent en respectant les cellules et le cycle cellulaire de ce dernier (107).

- **Exception de l'extraction orthodontique**

Certains cas cliniques particuliers permettent de n'avoir recours qu'à l'orthodontie. Il s'agit de l'extraction orthodontique, employée plutôt pour les secteurs antérieurs (dents monoradiculées) où l'esthétique joue un rôle majeur. Nous aurons recours à cette technique dans les cas d'atteintes osseuses sévères, de lésions endodontiques non traitables, ou encore de fractures radiculaire. En revanche, l'extrusion orthodontique ne permet un développement osseux que dans le sens vertical : si le praticien constate un manque osseux en largeur, un recours à la greffe osseuse sera nécessaire. Il y a malgré tout des conditions à respecter avant d'avoir recours à la technique d'extrusion orthodontique : il faut que la résorption osseuse initiale soit modérée, surtout en vestibulaire, et que la récession gingivale ne dépasse pas le tiers radulaire moyen (127). Une fois l'extraction orthodontique réalisée, il faut attendre 3 à 6 mois avant de poser l'implant afin de permettre une réorganisation des tissus mous et un remodelage osseux et d'éviter les récives : c'est ce qui s'appelle la période de stabilisation (140).

CONCLUSION

Il est important de noter que certaines études présentent des résultats discordants car les conditions de travail sont différentes, de même que les conditions de sélection des individus, les secteurs étudiés (il y a un plus grand nombre d'études concernant les secteurs pluriradiculés), ou encore la sévérité et la morphologie du défaut initial.

En confrontant les résultats des études malgré les diverses conditions d'analyses, nous pouvons néanmoins établir quelques grands points à ne pas négliger.

Le protocole qui pourrait être établi pour les cas cliniques combinant orthodontie et greffe osseuse pré-implantaire ne différera pas véritablement selon que le travail portera sur les dents mono- ou pluriradiculées.

Le recours à l'orthodontie aura lieu après la chirurgie de régénération parodontale. Le recours à l'orthodontie après la greffe permettra d'accélérer et amplifier la régénération osseuse du substitut osseux, à condition qu'elle se fasse selon des forces physiologiques, c'est-à-dire des forces douces et continues.

Plusieurs substituts osseux permettent d'obtenir de bons résultats cliniques et histologiques de régénération osseuse pré-implantaire. En revanche, certains n'ont pas un recul clinique et histologique suffisant pour s'assurer de manière absolue de leur fiabilité dans le temps. Dans la plupart des études, le Bio-Oss®, l'autogreffe et le β TCP semblent présenter les meilleurs résultats. Le Bio-Oss® présente une résorption relativement lente : on pourra y avoir recours dans des zones esthétiques (60).

Nous aurons recours à l'orthodontie précoce, c'est-à-dire avec une attente minimale de deux semaines entre la greffe et l'activation du système orthodontique.

La spécificité du travail sur les dents monoradiculées est que – en plus de la thérapeutique combinée – nous pouvons avoir recours à une technique d'orthodontie seule : l'extraction orthodontique. Celle-ci répond néanmoins à des critères spécifiques.

La très grande majorité des études portant sur les régions postérieures (prémolaires ou prémolo-molaires), et du fait du faible nombre d'études portant sur les régions anatomiques antérieures, nous n'établirons pas de distinction dans la prise en charge entre les zones anatomiques d'intérêt.

La corticotomie associée à une greffe osseuse pré-implantaire pourra être employée à la fois dans les secteurs antérieurs et postérieurs. Elle a pour avantage de réduire de manière significative la durée du traitement orthodontique et de réduire également l'incidence de résorption apicale, et de problèmes parodontaux que nous pourrions retrouver dans le cadre de déplacements orthodontiques classiques. Elle permet également une augmentation significative de la densité osseuse.

D'autres études cliniques contrôlées randomisées à haut niveau de preuve scientifique sont donc essentielles pour établir un protocole solide dans les cas de thérapeutiques chirurgico-orthodontiques combinées.

REFERENCES DES ILLUSTRATIONS

Figures 1, 2, 3

Zunzarren R. Implantologie. In: Guide clinique d'odontologie. 2ème édition. Elsevier Masson; 2018. p. 246-64.

Figures 4, 5

Degorce T. Les implants de larges diamètres. Synergie prothétique. 2000;2(5):365-77

Figure 6

Chachoua A, Khoury E. Distraction osseuse alvéolaire à visée implantaire. L'Information Dentaire. 2010;(24):6.

Figure 7

Pascual D, Roig R, Chossegros C. Greffes osseuses des secteurs mandibulaires postérieurs par technique de « coffrage ». Revue de Stomatologie, de Chirurgie Maxillo-faciale et de Chirurgie Orale. avr 2014;115(2):105-10.

Figure 8

Bhalla N, Dym H. Update on Maxillary Sinus Augmentation. Dental Clinics of North America. janv 2021;65(1):197-210.

Figure 9

3D Celco. Sinus lift: définition, évolution des matériaux, technique [Internet]. 2018. Disponible sur: <https://www.3dcelco.com/le-sinus-lift-evolution-des-materiaux-technique/>

Figures 10

Docquier, Schubert PL T. Techniques et indications des greffes osseuses et ostéocartilagineuses. In: Techniques chirurgicales - Orthopédie-Traumatologie. p. 1-26. (EMC)

Figures 11, 12

Colombier ML, Lesclous P, Tulasne JF. La cicatrisation des greffes osseuses. Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-faciale. juin 2005;106(3):157-65.

Figure 13

Canceill T, Kichenbrand C, Joniot S. Les substitués osseux en odontologie Partie 2 - Classification. BioMatériaux Cliniques. 2019;4(2):42-7.

Figures 14 et 15

Vernejoul M, Marie P. Cellules osseuses et remodelage osseux. Med Sci (Paris). 1993;9(11):1192

BIBLIOGRAPHIE

1. Santucci J, Agossa K, Leize-Zal E. Imagerie en implantologie orale : étude pré-implantaire et planification. *Réalités Cliniques*. 25:15.
2. Zuzarren R. Implantologie. In: *Guide clinique d'odontologie*. 2ème édition. Elsevier Masson; 2018. p. 246-64.
3. Pereira S, Antoun H. Les implants courts. *L'Information Dentaire*. 2015;(20):24-32.
4. Annibali S, Cristalli MP, Dell'Aquila D, Bignozzi I, La Monaca G, Piloni A. Short dental implants: a systematic review. *J Dent Res*. janv 2012;91(1):25-32.
5. Esposito M, Cannizzaro G, Soardi E, Pistilli R, Piattelli M, Corvino V, et al. Posterior atrophic jaws rehabilitated with prostheses supported by 6 mm-long, 4 mm-wide implants or by longer implants in augmented bone. Preliminary results from a pilot randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol*. 5(1):19-33.
6. Esposito M, Pellegrino G, Pistilli R, Felice P. Rehabilitation of posterior atrophic edentulous jaws: prostheses supported by 5 mm short implants or by longer implants in augmented bone? One-year results from a pilot randomised clinical trial. *Eur J Oral Implantol*. 4(1):21-30.
7. Felice P, Checchi L, Esposito M. Vertical augmentation with interpositional blocks of anorganic bovine bone vs. 7mm long implants in posterior mandibles: 1-year results of a randomized clinical trial. *Clin Oral Impl Res*. 2010;1394-1403:11.
8. Sawadogo A, Cissé B, Guiguemdé P, Pesson M, Mbodj B, Djeredou B, et al. Implants courts vs implants standard placés sur une mandibule atrophique après augmentation osseuse. *L'Information Dentaire*. 2020;(8/9):26-33.
9. Atieh MA, Zadeh H, Stanford CM, Cooper LF. Survival of short dental implants for treatment of posterior partial edentulism: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants*. déc 2012;27(6):1323-31.
10. Telleman G, Raghoobar GM, Vissink A, den Hartog L, Huddleston Slater JJR, Meijer HJA. A systematic review of the prognosis of short (<10 mm) dental implants placed in the partially edentulous patient. *J Clin Periodontol*. juill 2011;38(7):667-76.
11. Tawil G, Aboujaoude N, Younan R. Influence of prosthetic parameters on the survival and complication rates of short implants. *Int J Oral Maxillofac Implants*. avr 2006;21(2):275-82.
12. Blanes RJ, Bernard JP, Blanes ZM, Belser UC. A 10-year prospective study of ITI dental implants placed in the posterior region. I: Clinical and radiographic results. *Clin Oral Implants Res*. déc 2007;18(6):699-706.
13. Lai HC, Si MS, Zhuang LF, Shen H, Liu Y lian, Wismeijer D. Long-term outcomes of short dental implants supporting single crowns in posterior region: a clinical retrospective study of 5-10 years. *Clin Oral Impl Res*. févr 2013;24(2):230-7.
14. Degorce T. Les implants de larges diamètres. *Synergie prothétique*. 2000;2(5):365-77.

15. Graves SL, Jansen CE, Siddiqui AA, Beaty KD. Wide diameter implants: indications, considerations and preliminary results over a two-year period. *Aust Prosthodont J.* 1994;8:31-7.
16. Langer B, Langer L, Herrmann I, Jorneus L. The wide fixture: a solution for special bone situations and a rescue for the compromised implant. Part 1. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1993;8(4):400-8.
17. Renouard, Riachi F F. Apport des implants de 5 mm de diamètre en implantologie orale. *L'Information Dentaire.* 1994;76:2069-76.
18. Engquist B, Bergendal T, Kallus T, Linden U. A retrospective multicenter evaluation of osseointegrated implants supporting overdentures. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1988;3(2):129-34.
19. Jaffin RA, Berman CL. The Excessive Loss of Branemark Fixtures in Type IV Bone: A 5-Year Analysis. *Journal of Periodontology.* janv 1991;62(1):2-4.
20. Johns RB, Jemt T, Heath MR, Hutton JE, McKenna S, McNamara DC, et al. A multicenter study of overdentures supported by Brånemark implants. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1992;7(4):513-22.
21. Bahat O. Osseointegrated Implants in the Maxillary Tuberosity: Report on 45 Consecutive Patients. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1992;7:459-67.
22. Friberg B, Jemt T, Lekholm U. Early Failures in 4,641 Consecutively Placed Brånemark Dental Implants: A Study From Stage 1 Surgery to the Connection of Completed Protheses. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1991;6(2):142-6.
23. Henry PJ, Tolman DE, Bolender C. The applicability of osseointegrated implants in the treatment of partially edentulous patients: three-year results of a prospective multicenter study. *Quintessence Int.* févr 1993;24(2):123-9.
24. Lazzara RJ. Immediate implant placement into extraction sites: surgical and restorative advantages. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 1989;9(5):332-43.
25. Sabot J, Mahler P, Pouysségur V. Les mini-implants pour patients âgés fragiles et précaires : alternative de choix ? *Synergie prothétique.* 2014;14(1):33-41.
26. Fenelon M, Masson-Regnault E, Catros S. La cicatrisation osseuse en chirurgie orale. *Réalités Cliniques.* 27(1):37-43.
27. Saad O. Les substituts osseux allogéniques et xénogéniques: utilisation en chirurgie pré-implantaire. [Nancy]: Lorraine; 2012.
28. Afota F, Damiano F, Savoldelli C. Préservation alvéolaire post- extractionnelle : biomatériaux, indications et techniques chirurgicales. *L'Information Dentaire.* 2020;31(4):284-93.
29. Chiapasco M, Casentini P, Zaniboni M. Bone Augmentation Procedures in Implant Dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;24(Suppl):237-59.
30. Majzoub J, Ravida A, Starch-Jensen T, Tattan M, Suárez-López del Amo F. The Influence of Different Grafting Materials on Alveolar Ridge Preservation: a Systematic Review. *JOMR.* 2019;10(3):e6.
31. Jhugroo K, Vitte H. Intérêts des allogreffes et xénogreffes dans la gestion prothétique d'un cas complexe. *Stratégie prothétique.* 2012;12(2):123-32.
32. Regnault M. Reconstruction osseuse verticale pré-implantaire. 2019;7.

33. Pierrefeu A, Sauvigné T, Cresseaux P, Jeannot PY, Breton P. Technique du coffrage en greffe osseuse préimplantaire mandibulaire postérieure : entre apposition et régénération. *Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-faciale*. sept 2012;113(4):322-6.
34. Adeyemo WL, Reuther T, Bloch W, Korkmaz Y, Fischer JH, Zöller JE, et al. Influence of host periosteum and recipient bed perforation on the healing of onlay mandibular bone graft: an experimental pilot study in the sheep. *Oral Maxillofac Surg*. mai 2008;12(1):19-28.
35. Colombier ML, Lesclous P, Tulasne JF. La cicatrisation des greffes osseuses. *Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-faciale*. juin 2005;106(3):157-65.
36. Colat-Parros, Jordana. Les membranes - Campus Cerimes. Université Médicale Virtuelle Francophone [Internet]. 2010 2009 [cité 25 août 2022]; Disponible sur: <http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap222/site/html/1.html>
37. Campan P, Estrade L. La chirurgie pré-implantaire : greffes osseuses. *Réalités Cliniques*. 2008;19(1):57-67.
38. Chachoua A, Khoury E. Distraction osseuse alvéolaire à visée implantaire. *L'Information Dentaire*. 2010;(24):6.
39. Chiapasco M, Romeo E, Casentini P, Rimondini L. Alveolar distraction osteogenesis vs. vertical guided bone regeneration for the correction of vertically deficient edentulous ridges: A 1-3-year prospective study on humans. *Clin Oral Implants Res*. févr 2004;15(1):82-95.
40. Chiapasco M, Zaniboni M, Rimondini L. Autogenous onlay bone grafts vs. alveolar distraction osteogenesis for the correction of vertically deficient edentulous ridges: a 2?4-year prospective study on humans. *Clin Oral Implants Res*. août 2007;18(4):432-40.
41. Bianchi A, Felice P, Lizio G, Marchetti C. Alveolar distraction osteogenesis versus inlay bone grafting in posterior mandibular atrophy: a prospective study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. mars 2008;105(3):282-92.
42. Tarragano, Missika, Moyal, Illouz, Roche H P,F,B,Y. *La chirurgie orale*. Editions Cdp. 2010. 261 p.
43. Bouzaidi SIE. *L'augmentation osseuse tridimensionnelle par la technique sandwich*. [Nancy]: Lorraine; 2019.
44. Pascual D, Roig R, Chossegros C. Greffes osseuses des secteurs mandibulaires postérieurs par technique de « coffrage ». *Revue de Stomatologie, de Chirurgie Maxillo-faciale et de Chirurgie Orale*. avr 2014;115(2):105-10.
45. Tulasne JF. Reconstruction préimplantaire du secteur mandibulaire postérieur. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*. 2012;113(4):307-21.
46. Valentini et al. Sinus grafting with porous bone mineral (Bio-Oss) for implant placement : a 5-year study on 15 patients. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2000;20(3):245-53.
47. Haas R, Baron M, Donath K, Zechner W, Watzek G. Porous Hydroxyapatite for Grafting the Maxillary Sinus: A Comparative Histomorphometric Study in Sheep. 2002;11.
48. Danesh-Sani SA, Wallace SS, Movahed A, El Chaar ES, Cho SC, Khoully I, et al. Maxillary Sinus Grafting With Biphasic Bone Ceramic or Autogenous Bone: Clinical, Histologic, and Histomorphometric Results From a Randomized Controlled Clinical Trial. *Implant Dent*. oct 2016;25(5):588-93.

49. Bhalla N, Dym H. Update on Maxillary Sinus Augmentation. *Dental Clinics of North America*. janv 2021;65(1):197-210.
50. 3D Celo. Sinus lift: définition, évolution des matériaux, technique [Internet]. 2018. Disponible sur: <https://www.3dcelo.com/le-sinus-lift-evolution-des-materiaux-technique/>
51. Jordana F, Le Visage C, Weiss P. Substituts osseux. *Med Sci (Paris)*. janv 2017;33(1):60-5.
52. HAS - Rapport d'évaluation des substituts osseux - Mai 2013.
53. Docquier, Schubert PL T. Techniques et indications des greffes osseuses et ostéocartilagineuses. In: *Techniques chirurgicales - Orthopédie-Traumatologie*. p. 1-26. (EMC).
54. Perriat F. Simplification des chirurgies pré-implantaires par l'utilisation de blocs osseux allogéniques. *L'Information Dentaire*. 2005;32:1935-8.
55. Bignon A, Chouteau J, Chevalier J, Fantozzi G, Carret JP, Chavassieux P, et al. Effect of micro- and macroporosity of bone substitutes on their mechanical properties and cellular response. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. déc 2003;14(12):1089-97.
56. Colat-Parros, Jordana J Jordana. Les substituts osseux - Campus Cerimes. Université Médicale Virtuelle Francophone. 2010 2009;
57. Möhlhenrich SC, Kniha K, Magnuska Z, Hermanns-Sachweh B, Gremse F, Hölzle F, et al. Evaluation of different grafting materials for alveolar cleft repair in the context of orthodontic tooth movement in rats. *Sci Rep*. 30 juin 2021;11(1):13586.
58. Van Den Bergh JPA, Ten Bruggenkate CM, Krekeler G, Tuinzing DB. Maxillary sinus floor elevation and grafting with human demineralized freeze dried bone: Maxillary sinus floor elevation and grafting with human DFDB. *Clinical Oral Implants Research*. oct 2000;11(5):487-93.
59. HAS. Substituts osseux. Révision de catégories homogènes de dispositifs médicaux. Sait-Denis La Plaine; 2013.
60. Barone, Nannmark, Palacci. Introduction à la régénération osseuse guidées. In: *Bone, Biomaterials and Beyond - Techniques chirurgicales et biomatériaux pour l'augmentation des tissus durs et mous en chirurgie implantaire*. edra.
61. Canceill T, Kichenbrand C, Joniot S. Les susbtituts osseux en odontologie Partie 2 - Classification. *BioMatériaux Cliniques*. 2019;4(2):42-7.
62. Attia MS, Shoreibah EA, Ibrahim SA, Nassar HA. Regenerative therapy of osseous defects combined with orthodontic tooth movement. *J Int Acad Periodontol*. janv 2012;14(1):17-25.
63. MacNeill SR, Cobb CM, Rapley JW, Glaros AG, Spencer P. In vivo comparison of synthetic osseous graft materials: A preliminary study. *Journal of Clinical Periodontology*. avr 1999;26(4):239-45.
64. Mailhes D. Utilisation systématique de greffes allogéniques selon un protocole spécifique. *L'Information Dentaire*. 2019;7/8:26-35.
65. Sullivan WG, Szwajkun P. Membranous versus endochondral bone. *Plast Reconstr Surg*. juin 1991;87(6):1145.
66. Kusiak JF, Zins JE, Whitaker LA. The early revascularization of membranous bone. *Plast Reconstr Surg*. oct 1985;76(4):510-6.

67. Finkelman RD, Eason AL, Rakijian DR, Tutundzhyan Y, Hardesty RA. Elevated IGF-II and TGF-beta concentrations in human calvarial bone: potential mechanism for increased graft survival and resistance to osteoporosis. *Plast Reconstr Surg.* avr 1994;93(4):732-8.
68. Moskalewski S, Osiecka A, Malejczyk J. Comparison of bone formed intramuscularly after transplantation of scapular and calvarial osteoblasts. *Bone.* janv 1988;9(2):101-6.
69. Scott CK, Hightower JA. The matrix of endochondral bone differs from the matrix of intramembranous bone. *Calcif Tissue Int.* sept 1991;49(5):349-54.
70. Saffar JL, Colombier ML, Detienville R. Bone Formation in Tricalcium Phosphate-Filled Periodontal Intra-bony Lesions. Histological Observations in Humans. *Journal of Periodontology.* avr 1990;61(4):209-16.
71. Bowers GM, Vargo JW, Levy B, Emerson JR, Bergquist JJ. Histologic observations following the placement of tricalcium phosphate implants in human intrabony defects. *J Periodontol.* mai 1986;57(5):286-7.
72. Boileau MJ. Orthodontie. In: *Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte Tome 1.* Elsevier Masson. Elsevier Masson; 2011. p. 116-205.
73. Andreasen JO. Review of root resorption systems and models : etiology of root resorption and homeostatic mechanism of the periodontal ligament. In: *The biological mechanism of tooth eruption and tooth resorption.* 2nd ed. Birmingham. 1988. p. 9-21. (EBSCO Modic).
74. Melcher AH. Repair of wounds in the periodontium of the rat. Influence of periodontal ligament on osteogenesis. *Archives of Oral Biology.* déc 1970;15(12):1183-205.
75. Vernejoul M, Marie P. Cellules osseuses et remodelage osseux. *Med Sci (Paris).* 1993;9(11):1192.
76. Pougatch P, Boes D, Maujean E, Tarragano H. Interrelations orthodontie-parodontologie [Internet]. EMC Odontologie. 1999. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/20565/interrelations-orthodontie-parodontologie#:~:text=Les%20interrelations%20entre%20l'orthodontie,par%20chacune%20de%20ces%20disciplines>.
77. Li Y, Jacox LA, Little SH, Ko CC. Orthodontic tooth movement: The biology and clinical implications. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences.* avr 2018;34(4):207-14.
78. Davido N., Yasukawa K. *Orthopédie dento-faciale et Odontologie pédiatrique.* Maloine; 2017. 208 p. (Internat en odontologie).
79. Massif, Frappier. *Orthodontie et parodontie* [Internet]. EMC Orthopédie Dento-Faciale. 2007. Disponible sur: <http://www.em-consulte.com/en/article/68129>
80. Eliasson L k., Hugoson A, Kurol J r., Siwe H. The effects of orthodontic treatment on periodontal tissues in patients with reduced periodontal support. *The European Journal of Orthodontics.* 1 févr 1982;4(1):1-9.
81. Diedrich P, Wehrbein H. Orthodontische Zahnbewegung in Richtung auf unverheilte und verheilte Extraktionsbereiche: Eine histologische Studie. *J Orofac Orthop/Fortschr Kieferorthop.* mars 1997;58(2):90-9.
82. Reed BE, Polson AM, Subteiny JD. Long-term periodontal status of teeth moved into extraction sites. *American Journal of Orthodontics.* sept 1985;88(3):203-8.

83. Lindskog-Stokland B, Wennstrom JL, Nyman S, Thilander B. Orthodontic tooth movement into edentulous areas with reduced bone height. An experimental study in the dog. *The European Journal of Orthodontics*. 1 avr 1993;15(2):89-96.
84. Wennström JL, Stokland BL, Nyman S, Thilander B. Periodontal tissue response to orthodontic movement of teeth with infrabony pockets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. avr 1993;103(4):313-9.
85. Vardimon AD, Nemcovsky CE, Dre E. Orthodontic Tooth Movement Enhances Bone Healing of Surgical Bony Defects in Rats. *Journal of Periodontology*. juill 2001;72(7):858-64.
86. Nemcovsky CE, Beny L, Shanberger S, Feldman-Herman S, Vardimon A. Bone Apposition in Surgical Bony Defects Following Orthodontic Movement: A Comparative Histomorphometric Study Between Root- and Periodontal Ligament-Damaged and Periodontally Intact Rat Molars. *Journal of Periodontology*. juill 2004;75(7):1013-9.
87. Oltramari PVP, de Lima Navarro R, Henriques JFC, Taga R, Cestari TM, Ceolin DS, et al. Orthodontic movement in bone defects filled with xenogenic graft: An experimental study in minipigs. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. mars 2007;131(3):302.e10-302.e17.
88. Araújo MG, Carmagnola D, Berglundh T, Thilander B, Lindhe J. Orthodontic movement in bone defects augmented with Bio-Oss®. *Journal of Clinical Periodontology*. janv 2001;28(1):73-80.
89. Klein Y, Kunthawong N, Fleissig O, Casap N, Polak D, Chaushu S. The impact of alloplast and allograft on bone homeostasis: Orthodontic tooth movement into regenerated bone. *J Periodontol*. août 2020;91(8):1067-75.
90. Tanimoto K, Sumi K, Yoshioka M, Oki N, Tanne Y, Awada T, et al. Experimental Tooth Movement into New Bone Area Regenerated by Use of Bone Marrow-Derived Mesenchymal Stem Cells. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*. juill 2015;52(4):386-94.
91. Kawamoto T, Motohashi N, Kitamura A, Baba Y, Takahashi K, Suzuki S, et al. A Histological Study on Experimental Tooth Movement into Bone Induced by Recombinant Human Bone Morphogenetic Protein-2 in Beagle Dogs. *Cleft Palate-Craniofacial Journal*. 2002;39(4):439-48.
92. Kawamoto T, Motohashi N, Kitamura A, Baba Y, Suzuki S, Kuroda T. Experimental Tooth Movement into Bone Induced by Recombinant Human Bone Morphogenetic Protein-2. *Cleft Palate-Craniofacial Journal*. 2003;40(5):538-43.
93. Zhang D, Chu F, Yang Y, Xia L, Zeng D, Uludağ H, et al. Orthodontic tooth movement in alveolar cleft repaired with a tissue engineering bone: an experimental study in dogs. *Tissue Eng Part A*. mai 2011;17(9-10):1313-25.
94. da Silva VC, Cirelli CC, Ribeiro FS, Costa MR, Comelli Lia RC, Cirelli JA. Orthodontic movement after periodontal regeneration of class II furcation: a pilot study in dogs. *J Clin Periodontol*. juin 2006;33(6):440-8.
95. Hossain MZ, Kyomen S, Tanne K. Biologic responses of autogenous bone and beta-tricalcium phosphate ceramics transplanted into bone defects to orthodontic forces. *Cleft Palate Craniofac J*. juill 1996;33(4):277-83.
96. Ru N, Liu SSY, Bai Y, Li S, Liu Y, Wei X. BoneCeramic graft regenerates alveolar defects but slows orthodontic tooth movement with less root resorption. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. avr 2016;149(4):523-32.

97. Sun J, Zhang X, Li R, Chen Z, Huang Y, Chen Z. Biological Effects of Orthodontic Tooth Movement Into the Grafted Alveolar Cleft. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. mars 2018;76(3):605-15.
98. Jiang S, Liu T, Wu G, Li W, Feng X, Pathak JL, et al. BMP2-Functionalized Biomimetic Calcium Phosphate Graft Promotes Alveolar Defect Healing During Orthodontic Tooth Movement in Beagle Dogs. *Front Bioeng Biotechnol*. 2020;8:517.
99. Ghoraishian et Seifi. Determination of orthodontic tooth movement and tissue reaction following demineralized freeze-dried bone allograft grafting intervention. *Dent Res J*. 2012;9(2):203.
100. Diedrich P, Fritz U, Kinzinger G, Angelakis J. Movement of Periodontally Affected Teeth after Guided Tissue Regeneration (GTR) – an Experimental Pilot Study in Animals. *J Orofac Orthop*. mars 2003;64(3):214-27.
101. Sheats RD, Strauss RA, Rubenstein LK. Effect of a resorbable bone graft material on orthodontic tooth movement through surgical defects in the cat mandible. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. déc 1991;49(12):1299-303.
102. Attia MS, Shoreibah EA, Ibrahim SA, Nassar HA. Histological Evaluation of Osseous Defects Combined with Orthodontic Tooth Movement. *Journal of the International Academy of Periodontology*. janv 2012;14(1):7-16.
103. Ma Z, Wang Z, Zheng J, Chen X, Xu W, Zou D, et al. Timing of force application on buccal tooth movement into bone-grafted alveolar defects: A pilot study in dogs. *American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics*. févr 2021;159(2):e123-34.
104. Bare-Welchel B, Campbell PM, Gonzalez M, Buschang PH. Effects of bone grafting, performed with corticotomies and buccal tooth movements, on dehiscence formation in dogs. *American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics*. juin 2017;151(6):1034-47.
105. Lee KB, Lee DY, Ahn HW, Kim SH, Kim EC, Roitman I. Tooth movement out of the bony wall using augmented corticotomy with nonautogenous graft materials for bone regeneration. *Biomed Res Int*. 2014;2014:347508.
106. Cardaropoli et al. Bio-Oss collagen and orthodontic movement for the treatment of intrabony defects in the esthetic zone. pdf. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2006;26(6):553-9.
107. Nagy P. Histologic Evaluation of Human Intrabony Periodontal Defects Treated with Deproteinized Bovine Bone Mineral in Combination with Orthodontic Tooth Movement: A Case Series. *Int J Periodontics Restorative Dent*. mai 2020;40(3):321-30.
108. Uzel A, Benlidayı ME, Kürkçü M, Kesiktaş E. The Effects of Maxillary Expansion on Late Alveolar Bone Grafting in Patients With Unilateral Cleft Lip and Palate. *Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*. 2019;77(3):607-14.
109. Shoreibah EA, Ibrahim SA, Attia MS, Diab MMN. Clinical and Radiographic Evaluation of Bone Grafting in Corticotomy-facilitated Orthodontics in Adults. *Journal of the International Academy of Periodontology*. oct 2012;14(4):105-13.
110. Wilcko MT, Wilcko WM, Pulver JJ, Bissada NF, Bouquot JE. Orthodontic movement after periodontal regeneration of class II furcation: a pilot study in dogs - *J Clin Periodontol* 2006;33:440-448. *Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*. 2009;67(10):2149-59.
111. Reichert C, Deschner J, Kasaj A, Jäger A. Guided Tissue Regeneration and Orthodontics. A Review of the Literature. *J Orofac Orthop*. janv 2009;70(1):6-19.

112. Reichert C, Götz W, Smeets R, Wenghöfer M, Jäger A. The impact of nonautogenous bone graft on orthodontic treatment. *Quintessence International*. sept 2010;41(8):665-672c.
113. Vitral RWF, da Silva Campos MJ, de Andrade Vitral JC, Santiago RC, Fraga MR. Orthodontic distalization with rigid plate fixation for anchorage after bone grafting and maxillary sinus lifting. *American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics*. juill 2009;136(1):109-14.
114. Yılmaz S, Kılıçb AR, Keleş A, Efeoğlud E. Reconstruction of an alveolar cleft for orthodontic tooth movement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. févr 2000;117(2):156-63.
115. Soltan M, Smiler D, Prasad HS, Rohrer MD. Bone Block Allograft Impregnated With Bone Marrow Aspirate. *Implant Dentistry*. déc 2007;16(4):329-39.
116. Re et al. S. Orthodontic movement into bone defects augmented with bovine bone mineral and fibrin sealer: a reentry case report. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2002;22(2):139-45.
117. Chaushu G, Mardinger O, Calderon S, Moses O, Nissan J. The Use of Cancellous Block Allograft for Sinus Floor Augmentation With Simultaneous Implant Placement in the Posterior Atrophic Maxilla. *Journal of Periodontology*. mars 2009;80(3):422-8.
118. Nemcovsky CE, Sasson M, Beny L, Weinreb M, Vardimon AD. Periodontal healing following orthodontic movement of rat molars with intact versus damaged periodontia towards a bony defect. *The European Journal of Orthodontics*. 7 juin 2007;29(4):338-44.
119. McAllister BS, Haghghat K. Bone Augmentation Techniques. *Journal of Periodontology*. mars 2007;78(3):377-96.
120. Ruellas ACDO, Cunha ACD, Valadares CV, Tenorio De Sa AP, Ruellas CVDO. Orthodontic Movement of Posterior Teeth into a Corticocancellous Bone-Block Allograft Area. *J Clin Orthod*. juill 2016;50(7):427-36.
121. Diedrich PR. Guided tissue regeneration associated with orthodontic therapy. *Seminars in Orthodontics*. mars 1996;2(1):39-45.
122. Corinaldesi G, Pieri F, Marchetti C, Fini M, Aldini NN, Giardino R. Histologic and Histomorphometric Evaluation of Alveolar Ridge Augmentation Using Bone Grafts and Titanium Micromesh in Humans. *Journal of Periodontology*. août 2007;78(8):1477-84.
123. Gragg KL, Shugars DA, Bader JD, Elter JR, White BA. Movement of Teeth Adjacent to Posterior Bounded Edentulous Spaces. *J Dent Res*. nov 2001;80(11):2021-4.
124. Carvalho RS, Nelson D, Kelderman H, Wise R. Guided bone regeneration to repair an osseous defect. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. avr 2003;123(4):455-67.
125. Lee DW, Pi SH, Lee SK, Kim EC. Comparative Histomorphometric Analysis of Extraction Sockets Healing Implanted with Bovine Xenografts, Irradiated Cancellous Allografts, and Solvent-Dehydrated Allografts in Humans. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2009;24(4):609-15.
126. Lallam C, Lahmi M, Blanc A, Jalladaud M. Parodontie et orthodontie : le traitement idéal des maladies parodontales. *Réalités Cliniques*. 2014;25(3):219-28.
127. Pereira S, Antoun H. Chronologie du plan de traitement : paro, ortho, implanto. *Réalités Cliniques*. 2015;28(2):149-58.

128. Ghezzi C, Viganò VM, Francinetti P, Zanotti G, Masiero S. Orthodontic Treatment After Induced Periodontal Regeneration in Deep Infrabony Defects. *Clinical Advances in Periodontics*. févr 2013;3(1):24-31.
129. Ramfjord SP, Morrison EC, Burgett FG, Nissle RR, Shick RA, Zann GJ, et al. Oral Hygiene and Maintenance of Periodontal Support. *Journal of Periodontology*. janv 1982;53(1):26-30.
130. Marcotte MR. The use of the occlusogram in planning orthodontic treatment. *Am J Orthod*. juin 1976;69(6):655-67.
131. Melsen B, Agerbaek N, Markenstam G. Intrusion of incisors in adult patients with marginal bone loss. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. sept 1989;96(3):232-41.
132. Leggott PJ, Quinn RS, Eakle WS, Chambers D. Periodontal implications of orthodontic treatment in adults with reduced or normal periodontal tissues versus those of adolescents. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1989;96(3):191-8.
133. Melsen B. Tissue reaction to orthodontic tooth movement--a new paradigm. *The European Journal of Orthodontics*. 1 déc 2001;23(6):671-81.
134. Aguirre-Zorzano LA, Bayona JM, Remolina A, Castaños J, Diez R, Estefanía E. Postorthodontic stability of the new attachment achieved by guided tissue regeneration following orthodontic movement: Report of 2 cases. *Quintessence International*. 1999;30(11):769-74.
135. Diedrich P. The eleventh hour or where are our orthodontic limits?: Case report. *J Orofac Orthop/Fortschr Kieferorthop*. janv 1999;60(1):60-5.
136. Rotundo R, Bassarelli T, Pace E, Iachetti G, Mervelt J, Pini Prato G. Orthodontic treatment of periodontal defects. Part II: a systematic review on human and animal studies. *Progress in Orthodontics*. mai 2011;12(1):45-52.
137. Garg AK, Morales MJ, Navarro I, Duarte F. Autogenous mandibular bone grafts in the treatment of the resorbed maxillary anterior alveolar ridge: rationale and approach. *Implant Dent*. 1998;7(3):169-76.
138. Garcia A. Apport des techniques d'autogreffes dentaires à l'orthodontie. *International Orthodontics*. sept 2005;3(3):221-34.
139. Sculean et al. Clinical and histologic evaluation of human intrabony defects treated with an enamel matrix protein derivative combined with a bovine-derived xenograft. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2003;23(1):47-55.
140. Alsahhaf A, Att W. Orthodontic extrusion for pre-implant site enhancement: Principles and clinical guidelines. *Journal of Prosthodontic Research*. juill 2016;60(3):145-55.

Collège des Sciences de la Santé

UFR des Sciences Odontologiques

Serment

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

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

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

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

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

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



Vu, Le Président du Jury,
Date, Signature :

Vu, la Directrice de l'UFR des Sciences Odontologiques,
Date, Signature :

Vu, le Président de l'Université de Bordeaux,
Date, Signature :

Titre : Greffe osseuse pré-implantaire et orthodontie : revue systématique de la littérature

Résumé :

Dans certains cas de réhabilitation prothétique, des déplacements orthodontiques doivent être associés à un traitement implantaire avec un recours à des greffes osseuses pré-implantaires. Dans ce contexte, il est parfois difficile de définir le meilleur moment et la meilleure méthode pour réaliser le traitement orthodontique et la greffe osseuse. Or, le choix des étapes de traitement est primordial. De plus, le déplacement des dents au sein des différents biomatériaux utilisés pour les greffes osseuses est mal connu. Actuellement, il n'y a pas de consensus sur le sujet, ni de revue de littérature récente sur les problématiques soulevées par ce sujet. En revanche, on peut retrouver de nombreux cas cliniques isolés ou des séries de cas qui exposent des techniques variées selon le site opératoire ou la méthode utilisée.

Mots clés :

Implants dentaires
Greffe osseuse alvéolaire
Techniques de déplacement dentaire

Title : Pre-implant bone grafting and orthodontics : systematic review of the literature

Abstract :

In some cases of prosthetic rehabilitation, orthodontic relocations have to be combined with implant treatment using pre-implant bone grafts. In this context, it is sometimes difficult to define the best time and method to perform the orthodontic treatment and the bone graft. The choice of the treatment steps is crucial. Furthermore, the displacement of teeth within the different biomaterials used for bone grafting is not well known. Currently, there is no consensus on the subject, nor is there a recent literature review on the issues raised by this subject. On the other hand, there are many isolated clinical cases or series of cases that present various techniques depending on the surgical site or the method used.

Keywords :

Dental implants
Alveolar bone grafting
Tooth movement techniques