

**UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE DE LILLE 2
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

Année de soutenance: 2018

N°:

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

Présentée et soutenue publiquement le 27 SEPTEMBRE 2018

Par PLANCKE Florence

Née le 21 Juin 1993 à Roubaix

**Les techniques d'avulsions atraumatiques
utilisées en chirurgie pré-implantaire**

JURY

Président :

Monsieur Le Professeur Guillaume PENEL

Assesseurs :

Monsieur Le Docteur François BOSCHIN

Madame Le Docteur Cécile OLEJNIK

Monsieur Le Docteur Gilbert NAFASH

Président de l'Université	:	Pr. J-C. CAMART
Directeur Général des Services de l'Université	:	P-M. ROBERT
Doyen	:	Pr. E. DEVEAUX
Vice-Doyens	:	Dr. E. BOCQUET, Dr. L. NAWROCKI et Pr. G. PENEL
Responsable des Services	:	S. NEDELEC
Responsable de la Scolarité	:	M.DROPSIT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'U.F.R.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

P. BEHIN	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
E. DELCOURT-DEBRUYNE	Professeur Emérite Parodontologie
E. DEVEAUX	Dentisterie Restauratrice Endodontie Doyen de la Faculté
G. PENEL	Responsable du Département de Biologie Orale

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

T. BECAVIN	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
F. BOSCHIN	Responsable du Département de Parodontologie
E. BOCQUET	Responsable du Département d' Orthopédie Dento-Faciale
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. DELCAMBRE	Prothèses
C. DELFOSSE	Responsable du Département d' Odontologie Pédiatrique
F. DESCAMP	Prothèses
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
P. HILDEBERT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
J.M. LANGLOIS	Responsable du Département de Chirurgie Orale
C. LEFEVRE	Prothèses
J.L. LEGER	Orthopédie Dento-Faciale
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	Biologie Orale
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L.ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
M. SAVIGNAT	Responsable du Département des Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Responsable du Département de Prothèses

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille 2 a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation, ni improbation ne leur est donnée.

Aux membres de mon Jury,

Monsieur le Professeur Guillaume PENEL

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

Sous-Section Sciences Biologiques

- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Maîtrise de Sciences Biologiques et Médicales
- D.E.A Biologie et Biomatériaux
- Doctorat de l'Université René DESCARTES (ParisV)
- C.E.S d'Odontologie Chirurgicale
- Habilité à Diriger des Recherches
- Lauréat du prix international du G.I.R.S.O (Lille 2000)

Vice-Doyen Recherche de la Faculté de Chirurgie Dentaire

Responsable de la Sous-Section Sciences Biologiques

Je suis très sensible à l'honneur que vous me faites en acceptant la présidence de ce jury. Soyez assuré de ma sincère reconnaissance et veuillez trouver ici l'expression de mon profond respect pour votre rigueur, la généreuse transmission de votre savoir et la qualité de votre enseignement.

Madame le Docteur Cécile OLEJNIK

Maitre de Conférence des Universités- Praticien Hospitalier des CSERD

Sous-Section des Sciences Biologiques

- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Doctorat de l'université Lille 2 (mention odontologie)

*Pour m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury,
pour votre encadrement et vos conseils lors des vacations d'urgence
ainsi que votre gentillesse,
Veuillez recevoir à travers ces pages, l'assurance de mes remerciements
et mon profond respect.*

Monsieur le Docteur Gilbert NAFASH

Praticien Hospitalier des CSERD - Chargé d'Enseignement

U.F Implantologie- D.U Implantologie

- Ancien Interne des Hôpitaux de Lille
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Master I Recherche Biologie Santé
- A.E.A en Odontologie
- C.E.S. D'Odontologie Chirurgicale- Lille II
- D.I.U de Carcinologie Buccale- Paris VII/XII

*Vous avez accepté spontanément et avec enthousiasme
de siéger au sein de ce jury.*

Je vous remercie pour votre sympathie, votre bonne humeur et vos conseils.

*J'espère que vous trouverez à travers cette thèse,
l'expression de mon réel respect.*

Monsieur le Docteur François BOSCHIN

Maitre de Conférences des Universités - praticien Hospitalier des CSERD

Sous-Section Parodontologie

- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Docteur de l'Université de Lille 2 (mention Odontologie)
- D.E.A de Génie de Biologies Médicales
- C.E.S de Technologie des Matériaux utilisés en Art Dentaire
- C.E.S de Parodontologie

Vous avez accepté spontanément de diriger cette thèse et de m'accompagner tout au long de ce travail, qui je l'espère est à la hauteur de vos attentes.

Je vous adresse mes plus sincères remerciements pour vos conseils et votre écoute que vous m'avez accordés pour la rédaction de cette thèse.

Que ce travail soit le témoignage de ma sincère reconnaissance.

Table des matières

Introduction	16
1. Architecture osseuse des maxillaires.....	17
1.1. Rappels anatomiques sur les maxillaires.....	17
1.1.1. Les maxillaires supérieurs.....	17
1.1.2. Le maxillaire inférieur.....	17
1.2. Les différents types d'os	18
1.2.1. Microscopiquement	18
1.2.1.1. L'os compact.....	19
1.2.1.2. L'os spongieux.....	19
1.2.2. Au niveau des maxillaires.....	20
1.2.2.1. L'os basal	20
1.2.2.2. L'os alvéolaire.....	20
1.3. Évaluation de l'os.....	21
1.3.1. Évaluation quantitative et qualitative osseuse.....	21
1.3.1.1. Évaluation de la qualité de l'os.....	21
1.3.1.2. Évaluation de la quantité d'os	22
1.3.2. Evaluation des défauts osseux.....	22
1.4. Organisation et architecture osseuse en fonction des sites anatomiques.....	23
1.4.1. À la mandibule.....	23
1.4.2. Au maxillaire.....	24
1.4.3. Résumé comparatif et récapitulatif.....	26
1.4.3.1. Points communs au maxillaire et à la mandibule.....	26
1.4.3.2. Différences entre le maxillaire et la mandibule.....	26
2. La cicatrisation osseuse après extraction.....	28
2.1. La cicatrisation tissulaire.....	28
2.1.1. Études histologiques.....	28
2.1.1.1. Animales.....	28
2.1.1.2. Humaines.....	30
2.1.1.3. Conclusion des études.....	33
2.1.2. Chronologie de la cicatrisation alvéolaire post- extractionnelle.....	34
2.1.2.1. Comblement de l'alvéole.....	34
2.1.2.2. Cicatrisation tissulaire.....	34
2.2. Le remodelage osseux et sa physiologie.....	36
2.2.1. L'activation.....	37
2.2.2. La résorption.....	39
2.2.2.1. Différenciation et activation des ostéoclastes.....	39
2.2.2.2. Déroulement du cycle de résorption	41
2.2.3. L'inversion	42
2.2.4. La formation.....	42
2.2.4.1. Différenciation et régulation des ostéoblastes.....	42
2.2.4.2. Déroulement	44
2.2.5. Phase de quiescence.....	45
2.3. La résorption osseuse : l'alvéolyse.....	45
2.3.1. Les origines de la résorption alvéolaire.....	45
2.3.1.1. Perte de la vascularisation	45
2.3.1.2. Perte de la stimulation fonctionnelle	46
2.3.2. Les changements morphologiques et anatomiques.....	46
2.3.2.1. Incidences au maxillaire et à la mandibulaire.....	46

2.3.2.2. Résorption verticale.....	48
2.3.2.3. Résorption horizontale.....	49
2.3.2.4. Modifications des tissus mous.....	50
2.3.3. Classifications des pertes de substances.....	50
2.3.3.1. Classification de Seibert (1983).....	50
2.3.3.2. Classification de Cawood et Howell (1988).....	50
2.3.3.3. Autres.....	51
2.3.4. Les facteurs influençant la résorption alvéolaire.....	52
2.3.4.1. Facteurs locaux.....	52
2.3.4.2. Facteurs systémiques et métaboliques.....	53
2.3.4.3. Facteurs environnementaux et pathologiques.....	54
3. L'avulsion atraumatique	55
3.1. Pourquoi ?.....	55
3.1.1. Préserver les structures anatomiques.....	55
3.1.2. Limiter les pertes de chances implantaires.....	56
3.1.3. Réduire le temps de cicatrisation et les complications possible post-opératoires	56
3.2. Les différents instruments et techniques.....	57
3.2.1. Recours à la séparation de racine.....	57
3.2.1.1. Généralité	57
3.2.1.2. Indications.....	58
3.2.1.3. Avantages.....	58
3.2.1.4. Inconvénient	58
3.2.2. Utilisation du périotome.....	58
3.2.2.1. Généralité.....	58
3.2.2.2. Indications.....	59
3.2.2.3. Avantages.....	59
3.2.2.4. Inconvénients	60
3.2.3. Utilisation du Physic Forcep	61
3.2.3.1. Généralité	61
3.2.3.2. Indications.....	61
3.2.3.3. Avantages.....	62
3.2.3.4. Inconvénients.....	62
3.2.4. L'extraction verticale	62
3.2.4.1. Généralité.....	62
3.2.4.2. Indications.....	64
3.2.4.3. Avantages.....	64
3.2.4.4. Inconvénients	65
3.2.5. Recours à la piezochirurgie/ piérotome.....	65
3.2.5.1. Généralité.....	65
3.2.5.2. Indications.....	66
3.2.5.3. Avantages.....	68
3.2.5.4. Inconvénients	68
3.3. Discussion	69
3.3.1. Comparaison de la méthode d'avulsion atraumatique par rapport à la méthode traditionnelle.....	69
3.3.1.1. Séparation de racine versus pas de séparation de racine	69
3.3.1.2. Périotome versus extraction traditionnelle.....	69
3.3.1.3. Forcep physic versus extraction traditionnelle.....	70
3.3.1.4. Extraction verticale versus extraction traditionnelle.....	72

3.3.1.5. Piézochirurgie versus extraction traditionnelle.....	72
3.3.2. Tableau comparatif.....	73
Conclusion.....	76
Références bibliographiques.....	77

Introduction

C'est à partir des années 1980, suite aux travaux du Professeur Brånemark, que la pose d'implant se répand un peu partout dans le monde. De nos jours l'implantologie est en plein essor. L'implant a de nombreux avantages. Son ostéointégration grâce au titane permet de jouer un rôle d'ancrage stable et résistant, son taux de longévité est importante, il permet une restauration prothétique esthétique et fonctionnelle très proche de la dent naturelle, et sont de plus discrets et très confortables pour le patient (1,2).

Cependant, la principale contre-indication à la pose d'implant dentaire est le défaut quantitatif et qualitatif de l'os alvéolaire. Or dès l'extraction dentaire, il survient un remaniement osseux accompagné d'une résorption osseuse. Cliniquement cette alvéolyse apparaît aussi bien dans le sens vertical qu'horizontal et rend le succès implantaire esthétique et fonctionnel incertain. La connaissance de l'architecture osseuse des maxillaires ainsi que de ces événements post-extractionnels imposent donc au chirurgien dentiste de la rigueur et de la délicatesse dans le protocole d'extraction dentaire. L'approche d'avulsion atraumatique est donc impérative en situation pré-implantaire et s'appuie sur une série de principes et techniques destinés à préserver l'alvéole, ainsi que l'ensemble des structures avoisinant le site d'extraction.

Cet ouvrage a pour but d'étudier les conséquences d'une extraction dentaire sur l'os alvéolaire, son impact sur le volume osseux, ainsi que de développer les différentes techniques chirurgicales pour une avulsion la plus atraumatique possible. Nous verrons de quelle manière une bonne connaissance sur l'architecture osseuse des maxillaires ainsi que du remaniement osseux et de ses conséquences nous permettra de prédire le résultat post-extractionnel.

Ainsi, après avoir indiqué quelques rappels sur l'architecture des os maxillaires ainsi que leur organisation, nous développerons la cicatrisation osseuse post-extractionnelle accompagnée du remodelage osseux et de son alvéolyse. Puis nous aborderons les différents facteurs locaux, systémiques, ou encore pathologiques qui influent la résorption osseuse. Enfin dans une dernière partie nous verrons quelles sont les différentes techniques chirurgicales permettant l'extraction dentaire la plus atraumatique possible afin d'optimiser la mise en place d'un implant, puis nous les compareront avec la technique d'extraction dentaire conventionnelle.

1. Architecture osseuse des maxillaires

1.1. Rappels anatomiques sur les maxillaires

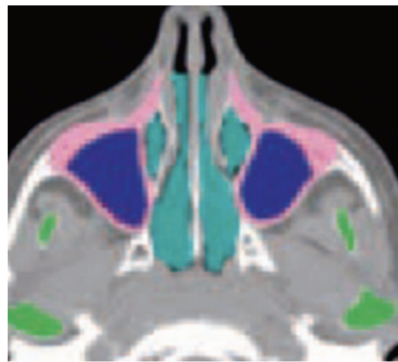
1.1.1. Les maxillaires supérieurs

L'os maxillaire supérieur est un os pair, médian et symétrique du massif facial. Les deux os maxillaires supérieurs sont soudés entre eux, de part et d'autre de la ligne médiane. À sa partie inférieure, l'os maxillaire compose l'arcade dentaire supérieure ainsi que le palais dur. Il est situé au dessus de la cavité buccale, en dessous des cavités orbitaires et à l'extérieur des fosses nasales et prend part à la formation des parois de ces trois cavités.

L'os maxillaire est relativement volumineux mais reste très léger du fait de la présence de cavité aérienne comme les sinus maxillaires qui représentent les 2/3 supérieurs de l'épaisseur de l'os. Le volume de cette cavité pneumatique varie en fonction de l'âge et des individus. Des corrélations existent entre le volume osseux des maxillaires et le volume aérien. Dans leur étude, *Baron et al.* ont mesuré des moyennes volumétriques presque similaires pour le maxillaire et pour les sinus maxillaires : 30,64 cm³ et 29,50 cm³ respectivement (3).



Illustration 1: radiographie de profil du maxillaire.
1 : sinus volumineux



■ Mandibule
■ Os maxillaire
■ Sinus maxillaire
■ Fosses nasales

Illustration 2: coupe axiale au CBCT du maxillaire (3)

1.1.2. Le maxillaire inférieur

Le maxillaire inférieur communément appelé mandibule est un os impair et symétrique. C'est le plus volumineux os de la face, son volume moyen est de 54,3 cm³ (3). La mandibule est le seul os mobile de la face et s'articule avec le crâne par une articulation temporo-mandibulaire permettant différents mouvements comme l'abaissement et l'élévation, la propulsion et rétropropulsion mais aussi la diduction. De nombreux muscles s'y insèrent (muscles masticateurs comme le masséter, temporal, ptérygoïdien médial et latéral; buccinateur ; mylohyoïdien...) et amènent un rôle essentiel dans la mastication et la parole.

Elle comporte un corps horizontal, ainsi que deux branches montantes (ramus) de chaque côté du corps, formant un angle mandibulaire avec le corps. Le corps, concave en forme de fer à cheval, est essentiellement un os basal creusé par le canal mandibulaire où passe le nerf mandibulaire V3 et des vaisseaux sanguins. Le nerf mandibulaire entre dans la mandibule par le foramen mandibulaire à l'épine de Spix situé dans le ramus, et y sort par le foramen mentonnier au niveau des prémolaires mandibulaires droites et gauches. Il devient alors le nerf mentonnier.

Elle représente, associée aux dents mandibulaires, l'arcade dentaire inférieure.

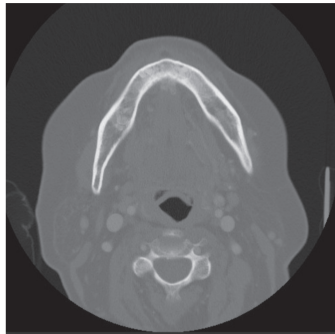


Illustration 3: Coupe axiale au CBCT de la mandibule (image personnelle)

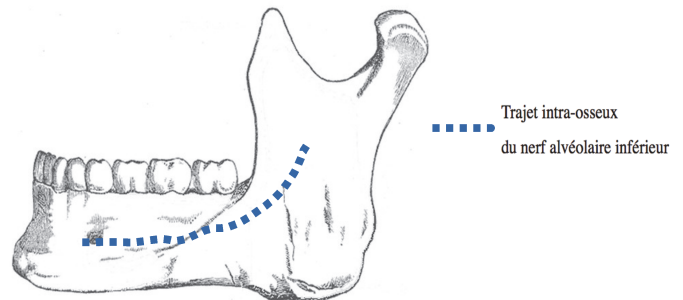


Illustration 4: arcade dentaire inférieure vue de profil (image personnelle)

1.2. Les différents types d'os

1.2.1. Microscopiquement

Un os est formé de deux types d'os : un os compact qui forme une enveloppe externe et un os spongieux à l'intérieur. Il est entièrement recouvert, sauf au niveau du cartilage articulaire, d'une membrane fibreuse : le périoste. Le rôle de ce dernier est essentiel car il assure la croissance en épaisseur de l'os et apporte grâce à son système vasculaire, les nutriments nécessaires à sa réparation. Il est composé de deux couches : une couche fibrillaire externe constituée d'un réseau dense de fibres de collagène et une couche cellulaire interne ostéogène, composée de cellules mésenchymateuses ostéoprogénitrices, ostéoblastes et ostéoclastes. Elle est responsable de la prolifération osseuse (4).

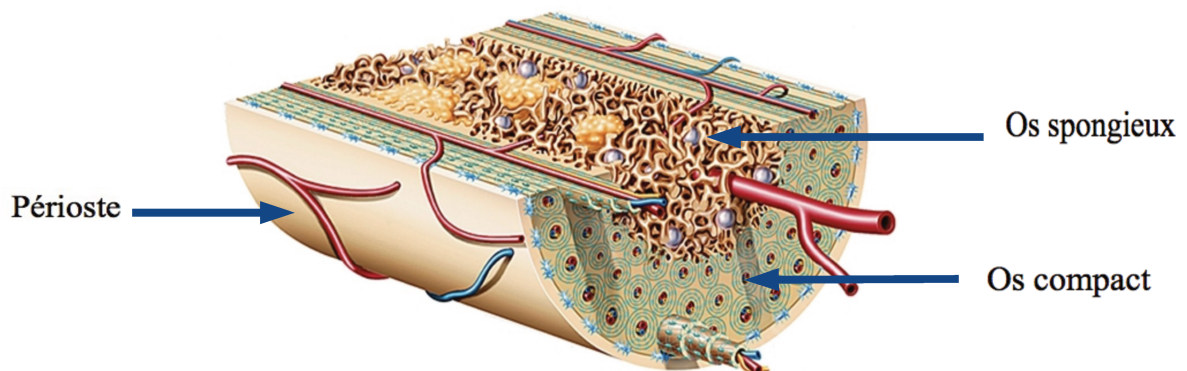


Illustration 5: Schéma d'une coupe osseuse (Larousse) (5)

1.2.1.1. L'os compact

L'os compact forme la corticale externe de l'os. C'est un os Haversien, aussi appelé os cortical. Cette enveloppe résistante est formée par la juxtaposition d'ostéons parallèles entre eux et orientés dans le grand axe de l'os. Chacun de ces ostéons est constitué par des lamelles osseuses cylindriques disposées concentriquement autour d'un canal central nommé canal de Havers (6). A l'intérieur du canal central de Havers, on trouve des fibres nerveuses, des vaisseaux lymphatiques et sanguins. Ces canaux de Havers sont reliés entre eux, avec la cavité médullaire et le périoste par des canaux transversaux ou obliques appelés les canaux de Volkmann. Entre ces ostéons on retrouve des lamelles osseuses interstitielles, vestiges d'anciens ostéons partiellement résorbés résultant du remaniement osseux. Les couches les plus externes de l'os correspondent à des lamelles circonférentielles qui entourent les systèmes de Havers.

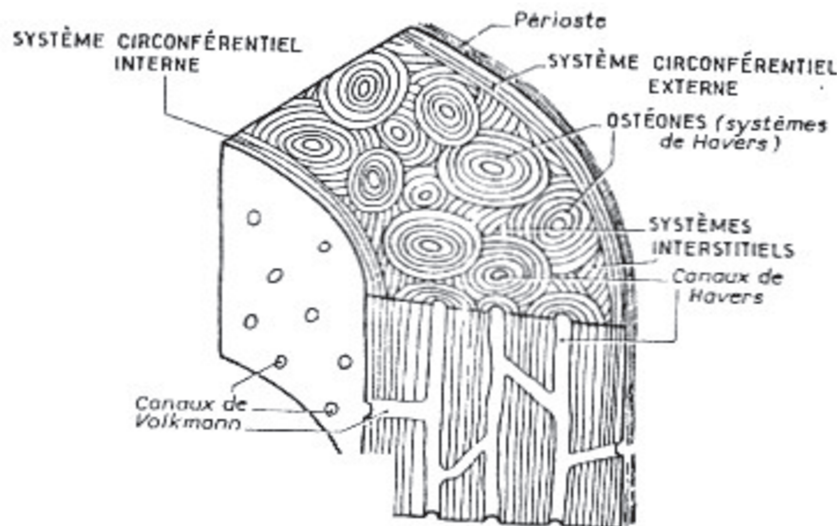


Illustration 6: schéma d'une coupe d'os compact (6)

Sous jacent à l'os cortical se trouve l'endoste, une membrane qui tapisse la face interne de l'os compact ainsi que les travées osseuses de l'os spongieux. L'endoste cortical et spongieux sont en continuité.

1.2.1.2. L'os spongieux

L'os spongieux est aussi appelé os trabéculaire. Il est situé principalement dans la partie centrale de l'os. Il a une structure plus lâche, composée d'une trame irrégulière de lamelles trabéculaires créant de vastes cavités appelées « espace médullaire » contenant la moelle osseuse, d'où son aspect « d'éponge ». Il contient beaucoup d'éléments vasculaires qui vont lui permettre le remaniement osseux. Il est moins résistant que l'os cortical mais offre tout de même une résistance tridimensionnelle face aux contraintes auxquelles il est soumis (7).



Illustration 7: os spongieux au microscope (7)

1.2.2. Au niveau des maxillaires

Les maxillaires sont formés d'une base d'os très dense, appelé os basal, et dans sa continuité un os plus fragile, principalement spongieux, qui contient les procès alvéolaires, appelé os alvéolaire. L'os basal et l'os alvéolaire sont étroitement liés puisque l'os basal est constamment sollicité par l'intermédiaire de l'os alvéolaire, lui même sollicité par la présence des dents sur l'arcade et l'occlusion dentaire (8).

1.2.2.1. L'os basal

L'os basal est un os très dense et très calcifié, qui constitue la base des os maxillaires. Comme tout tissu osseux, il est constitué d'une corticale d'os compact à l'extérieur ainsi que d'un réseau très dense d'os trabéculaire à l'intérieur. Cependant, l'os basal reste essentiellement un os compact.

1.2.2.2. L'os alvéolaire

L'os alvéolaire repose sur l'os basal et il est indissociable de ce dernier. En effet, il n'existe pas de limite anatomique entre l'os basal des maxillaires et l'os alvéolaire. Il entoure et maintient la dent sur les arcades dentaires grâce à ses tables externes et internes, et grandit proportionnellement avec la croissance radiculaire. Il est relié à la dent grâce au desmodonte aussi appelé ligament alvéolo-dentaire. Il est constitué de (4) :

- deux corticales en continuité avec la corticale de l'os basal : une corticale externe vestibulaire et une corticale interne linguale à la mandibule, et palatine au maxillaire.
- d'une portion entre deux racines : le septum interdentaire ou inter radiculaire.
- d'une paroi alvéolaire interne composée d'os compact qui reflète le contour des racines dentaires : la lamina dura.

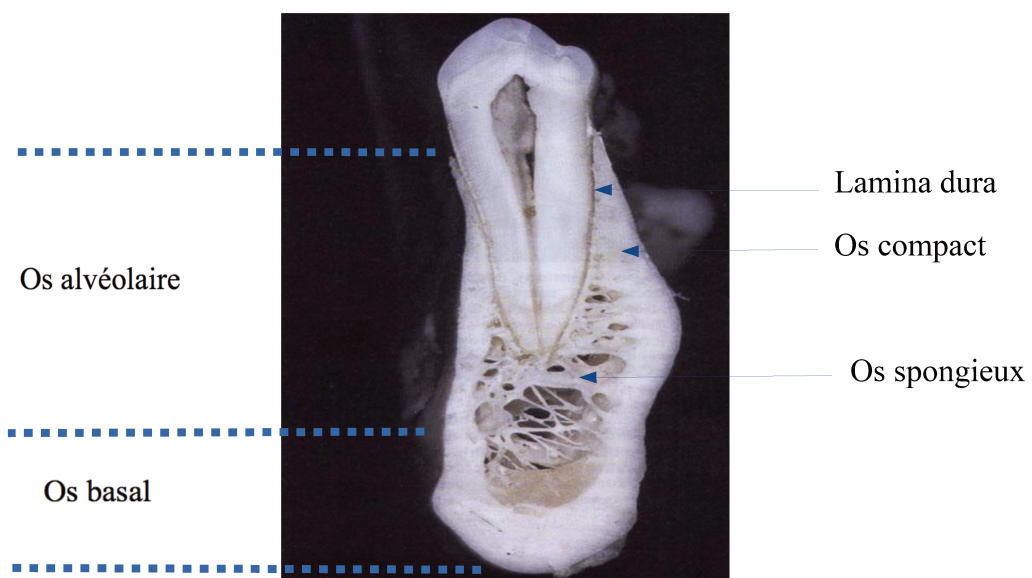


Illustration 8: Coupe transversale d'une première prémolaire mandibulaire (saffar et coll)(4)

Comme tout os, il est composé d'une corticale d'os compact sous-jacent au périoste, de l'endoste, puis dans sa partie centrale d'os spongieux. Cependant, à l'inverse de l'os basal, c'est un os principalement spongieux entouré d'une corticale plus dense.

C'est un os bien particulier car c'est l'un des seuls à être en constant remaniement au cours du temps, il « naît, vit et meurt avec la dent ». Toute la vie il suit un remodelage osseux en fonction des forces et contraintes qu'il subit. Ses dimensions peuvent évoluer vers une augmentation (éruptions dentaires, formation des torus..) ou vers une diminution (pertes des dents).

1.3. Évaluation de l'os

1.3.1. Évaluation quantitative et qualitative osseuse

1.3.1.1. Évaluation de la qualité de l'os

L'échec implantaire semble être plus influencé par la qualité de l'os alvéolaire que par sa quantité (9). Il est donc important de connaître la densité osseuse des différents sites anatomiques. Ces connaissances fournissent des informations précieuses pour la sélection des sites susceptibles d'accueillir des implants. Grâce à la radiographie, la densitométrie ou encore la minéralométrie, nous pouvons déterminer la densité osseuse. De plus, nous pouvons nous référer à des classifications qui utilisent par exemple un schéma anatomique de distribution de l'os compact et de l'os spongieux (10). En 1985, *Lekholm et Zarb* (11) classent la qualité de l'os en fonction de sa densité. Cette classification, basée sur la radiographie et sa composante histologique, est la plus ancienne et reste la plus populaire. Cependant, elle reste tout de même imprécise. Elle distingue 4 classes :

- Classe 1 : L'os est presque entièrement composé d'os compact
- Classe 2 : Une couche épaisse d'os compact entoure un noyau d'os spongieux dense
- Classe 3 : Une fine couche d'os compact entoure un noyau d'os spongieux dense
- Classe 4 : Une fine couche d'os compact entoure un noyaux d'os spongieux de faible densité

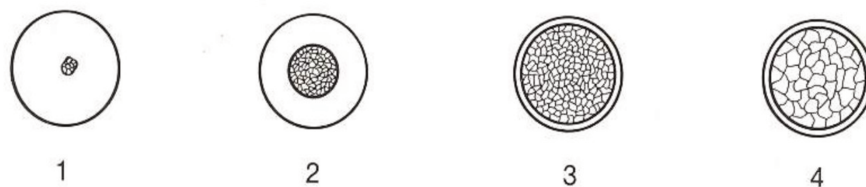


Illustration 9: classification de la densité osseuse selon Lekholm et Zarb (11)

Chacune de ces classes décrites par Lekholm et Zarb peut être attribuée topographiquement à une zone.

La densité varie en fonction du site anatomique mais aussi en fonction de l'âge et du sexe. Un adulte montre une densité osseuse significativement plus élevée qu'un adolescent : la densité augmente avec l'âge. Dans l'hypothèse, cette différence de qualité d'os avec l'âge est due à l'augmentation progressive de la capacité fonctionnelle en terme de force d'occlusion, de taille des muscles masticatoires ainsi que de l'activité musculaire (12,13). De plus, un homme présente une densité osseuse plus élevée qu'une femme.

D'une manière générale, l'os basal est plus dense que l'os alvéolaire, de même que l'os mandibulaire est plus dense que l'os maxillaire et que l'os cortical est plus dense que l'os spongieux. La densité de l'os cortical peut atteindre 95 % alors que celle de l'os spongieux est de l'ordre de 30 % (14).

1.3.1.2. Évaluation de la quantité d'os

Contrairement à la densité osseuse, le volume osseux, à savoir sa hauteur et son épaisseur, dépend entièrement de la localisation du site. L'évaluation de la quantité osseuse peut être réalisée à l'aide de toutes les techniques radiologiques disponibles : radio rétro alvéolaire, panoramique dentaire, tomодensitométrie, tomographie par ordinateur, tomographie volumique par faisceaux coniques ou Cone Beam (CBCT)... L'imagerie CBCT se démarque et fournit une caractérisation très fiable et précise des dimensions de l'os ainsi que la quantité d'os alvéolaire et spongieux (15,16).

En situation pré-implantaire, il est indispensable de connaître le volume osseux disponible. La connaissance du volume osseux originel en fonction des sites, et des événements post-extractionnel (vue dans une prochaine partie) est un prérequis nécessaire en situation pré-implantaire qui nous permettra de prédire le résultat post-extractionnel et nous amènera à être plus vigilant lors de l'extraction dentaire et ainsi, prendre des précautions en fonction des différents sites extractionnels.

1.3.2. Evaluation des défauts osseux

Selon *Harris (17)*, les étiologies des défauts osseux sont variés et peuvent survenir tout au long de la vie. Ils peuvent être d'origine :

- pathologique (maladies parodontales, tumeurs, kystes..)
- chirurgicale (résection apicale...)
- congénitale (micrognathie, fentes...)
- physiologique (extraction dentaire, vieillissement...)

Il existe des déficits osseux verticaux, horizontaux ou mixtes ; ces derniers étant les plus fréquents. L'examen clinique peut orienter le diagnostic en évaluant l'espace occlusal résiduel et l'aspect de la crête alvéolaire mais ne permet pas de connaître avec exactitude l'importance de la perte osseuse. C'est seulement la radiographie et plus précisément la tomographie par scanner qui permettent de connaître avec exactitude l'importance et le type de défaut de l'os alvéolaire.

Les défauts osseux (taille, nombre de parois résiduelles, type de défaut) sont importants à prendre en compte car les conditions de la cicatrisation osseuse future en dépendront (18).

1.4. Organisation et architecture osseuse en fonction des sites anatomiques

Avant de penser au traitement implantaire, il est important et indispensable de connaître l'architecture osseuse en fonction de la localisation. L'architecture osseuse est différente en fonction du site concerné : au maxillaire, à la mandibule, en antérieur ou en postérieur. Lors du traitement pré-implantaire, des méthodes d'avulsions atraumatiques découleront de la connaissance de l'architecture osseuse : le type et l'architecture de l'os influenceront les techniques d'avulsion ainsi que le futur traitement implantaire. De plus, l'os subira des modifications architecturales post-extractionnelles, qui seront principalement fonction de la localisation du site. Il est primordial en pré-extractionnel de connaître la quantité et la qualité de l'os originel pour prédire les résultats post-opératoires.

En situation pré-implantaire, deux questions systématiques se posent : Y a-t-il assez de place disponible pour un implant dentaire ? La qualité de l'os est-elle correcte ? La connaissance de la quantité et de la qualité d'os forme un prérequis primordial à la pose d'implant dentaire et dicte le futur traitement thérapeutique implantaire. Le taux de succès implantaire en dépend. En effet, si l'os n'a pas ces qualités, la stabilité primaire de l'implant sera moindre et affectera la réussite du traitement prothétique implantaire. Par exemple, de nombreux auteurs se mettent d'accord sur le fait qu'il est important d'avoir un os cortical épais pour assurer la stabilité primaire de l'implant (19–22).

Dans cette partie nous étudierons l'architecture des os maxillaires en fonction de leur localisation. Nous verrons que l'épaisseur et la densité de l'os sont généralement étroitement liées.

1.4.1. À la mandibule

À la mandibule, l'os alvéolaire repose sur l'os basal. Elle est constituée d'os spongieux avec son système trabéculaire dense, enveloppé de tissu compact pouvant atteindre une épaisseur de 3 à 5 mm pour son maximum. L'os cortical est beaucoup plus présent et dense qu'au maxillaire (13). L'épaisseur des corticales augmente de la région antérieure à la région postérieure. Ceci pourrait être expliqué par une plus forte demande fonctionnelle que demande les molaires mandibulaires. De plus la table externe vestibulaire est beaucoup plus mince que la table interne linguale, ceci est accentué en région antérieure (23).

Dans son étude, *Devlin* compare la densité osseuse maxillaire et mandibulaire et constate que la densité osseuse moyenne mandibulaire est de $1,11\text{g.cm}^2$, soit deux fois plus élevée que la densité osseuse dans le maxillaire antérieure ($0,55\text{g.cm}^2$) (24).

Park et al. quant à eux, mènent une étude sur 63 patients et mesurent la densité de l'os cortical des os alvéolaires et basaux aux maxillaires et à la mandibule, et les comparent ensuite entre eux. Ils remarquent que la densité osseuse corticale de l'os basal est plus importante (de 1320 à 1560 HU) que la densité osseuse corticale de l'os alvéolaire (de 800 à 1580). De plus, tout comme l'épaisseur des corticales, la densité osseuse augmente progressivement des incisives vers la région molaire (25).

Les avulsions dentaires mandibulaires seront donc plus difficiles que celles maxillaires, d'autant plus si l'extraction concerne une dent postérieure (prémolaire ou molaire). Cependant, du fait de la densité osseuse élevée ainsi que la présence d'os corticale dominante, le pronostic implantaire sera plus favorable : le succès thérapeutique implantaire sera donc important à la mandibule.

1.4.2. Au maxillaire

Si à la mandibule, l'os alvéolaire repose entièrement sur l'os basal, il en est tout autrement pour le maxillaire. En effet dans sa région postérieure, du fait de la présence des sinus, l'os basal se retrouve déporté, plus haut au niveau du cadre orbitaire et plus en arrière au niveau du massif ptérygoïdien. L'os basal est alors quasi inexistant, le maxillaire est essentiellement un os spongieux, léger et aéré puisqu'il est creusé par les sinus maxillaires qui limitent le volume osseux disponible pour recevoir un implant. La faible présence d'os cortical explique la résistance moindre de l'os maxillaire par rapport à l'os mandibulaire. Tout comme à la mandibule, l'épaisseur des corticales augmente de la région antérieure vers la région postérieure. C'est entre la première molaire et la deuxième molaire maxillaire que l'os cortical vestibulaire est le plus épais (26).

Park et al. comparent la densité de l'os cortical alvéolaire et basal au maxillaire. Il constatent qu'au niveau de l'os alvéolaire, la densité de la corticale varie entre 810 HU et 940 HU. L'os basal maxillaire quant à lui à une densité osseuse corticale plus élevée, variable de 835 HU à 1113 HU (sauf pour la tubérosité où la densité tourne autour de 500 HU). La densité la plus élevée au maxillaire a été observée dans la région canine et prémolaire, la tubérosité maxillaire quant à elle a montré la plus faible densité osseuse (25). La région postérieure maxillaire (0,31g. cm²) est moins dense que la région antérieure maxillaire (0,55g. Cm²) (24).

Plusieurs études ont été réalisées dans la région antérieure maxillaire. Les auteurs s'accordent et affirment que l'os cortical palatin est plus épais par rapport à l'os vestibulaire, cette différence est plus significative dans le maxillaire antérieur (27). L'os cortical palatin le plus épais se situe entre la canine et la première prémolaire.

La position et l'inclinaison des incisives maxillaires jouent un rôle dans la quantité d'os vestibulaire. En effet, une étude récente de 2015 analyse des résultats provenant de tomographie à faisceau conique (CBCT) et évalue l'épaisseur de l'os vestibulaire chez des adultes ayant des inclinaisons d'incisives différentes. Trois groupes ont été créés, un premier groupe ayant une inclinaison palatine de l'incisive, un deuxième groupe ayant une

inclinaison normale de l'incisive, et un troisième groupe ayant une inclinaison vestibulaire de l'incisive (*illustration 10*). Les résultats montrent que les incisives rétroversées en palatin ont moins de support osseux le long de leur racine et à leur apex. Dans ce cas, la paroi d'os vestibulaire est davantage plus mince et peut aller jusqu'à des défauts osseux comme des fenestrations ou déhiscences (28).

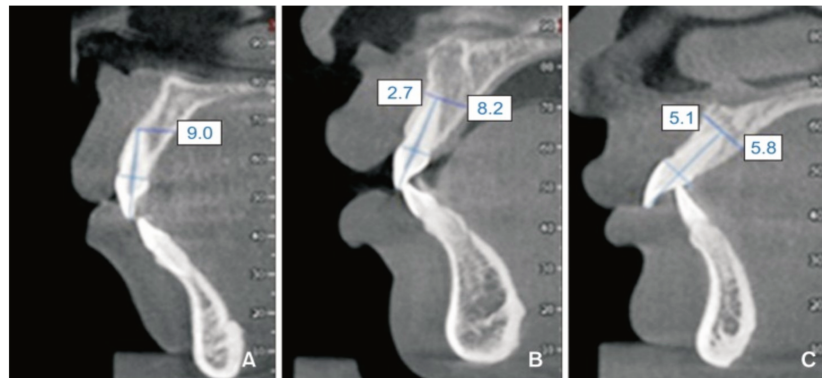


Illustration 10: mesures des pans vestibulaires et palatins en fonction de l'inclinaison de l'incisive centrale. A, groupe ayant l'incisive inclinée en palatin ; B, groupe ayant une l'inclinaison normale de l'incisive; C, groupe ayant une inclinaison vestibulaire de l'incisive. L'unité des données numériques sur la figure est en millimètres (28)

Déhiscences et fenestrations sont des défauts osseux très fréquemment rencontrés (29,30). D'après les données de la littérature, l'os vestibulaire est plus fréquemment atteint par ces défauts osseux que l'os lingual ou palatin. De même que la partie antérieure est plus propice à ces défauts que la partie postérieure : ces défauts osseux anatomiques sont surtout retrouvés au niveau des incisives, des canines et des premières molaires (26,27). Toutes les études montrent une prédominance des déhiscences par rapport aux fenestrations (29,31,32).

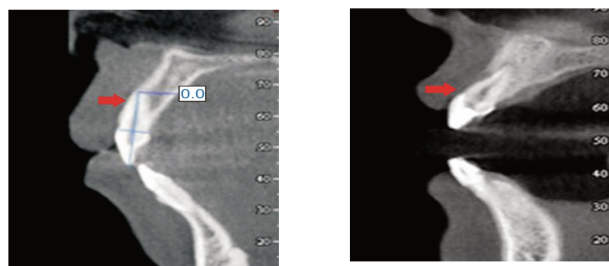


Illustration 11: 1ere image :Fenestration due à l'inclinaison de la dent. Il n'y a plus d'os alvéolaire au niveau de l'apex (0.0 mm). 2eme image : Déhiscence, on remarque l'absence d'os en vestibulaire (28)

L'absence radiologique d'os est plus communément observé dans la région antérieure maxillaire. En effet, les corticales antérieures sont très fines, essentiellement la corticale vestibulaire. Selon *Huynh-Ba et al*, la largeur moyenne de l'os vestibulaire dans le maxillaire antérieur est de 0,8mm (33). Ces résultats sont confirmés par *Braut*, qui dans

son étude analyse radiologiquement, grâce au CBCT, l'épaisseur de la paroi alvéolaire vestibulaire au niveau des dents antérieures maxillaires et constate que dans 90 % des cas, la paroi vestibulaire dans le maxillaire antérieur était mince voir quasi inexistante. La majorité des dents examinées (63 %) montrait une fine paroi osseuse vestibulaire, inférieure à 1 mm au niveau crestal et 81 % montraient une paroi vestibulaire inférieure à 1 mm au milieu de la racine (34).

D'après les données de la littérature, nous pouvons conclure qu'au maxillaire, l'épaisseur des corticales décroît de la région postérieure à la région antérieure. Cependant la densité des corticales augmente de la région postérieure à la région antérieure.

1.4.3. Résumé comparatif et récapitulatif

1.4.3.1. Points communs au maxillaire et à la mandibule

- **L'épaisseur des corticales**

L'épaisseur des corticales varie en fonction du site anatomique.

Conformément aux données de la littérature, que ce soit à la mandibule ou au maxillaire, l'épaisseur des corticales diminue de la région postérieure à la région antérieure : d'une manière générale, les tables osseuses sont généralement plus minces en antérieur. De plus, selon, *Kalbassi et al*, il ne semble pas avoir de différence significative de l'épaisseur de l'os vestibulaire dans la région antérieure maxillaire et mandibulaire (35).

L'épaisseur des corticales augmente de la région coronaire à la région apicale. Deux journaux, « *Journal of Comparative Human Biology* » (26) de 2017 et l'« *American journal of orthodontics and dento facial orthopedics* » (27) précisent que l'épaisseur de l'os cortical augmente de la région coronaire (2mm) à la région apicale (jusqu'à 8 mm) au niveau de l'os alvéolaire.

La corticale externe vestibulaire est plus fine que la corticale interne linguale ou palatine. (13,27,36).

- **La densité**

La densité de l'os basal (mandibulaire et maxillaire) est plus importante qu'au niveau de l'os alvéolaire.

Bien que la densité de l'os cortical soit différente au maxillaire et à la mandibule, l'os spongieux, lui a une densité similaire au maxillaire et à la mandibule.

1.4.3.2. Différences entre le maxillaire et la mandibule

- **Structure de l'os**

La mandibule est essentiellement un os compact et beaucoup plus dense, du fait de la présence de l'os basal. Le maxillaire, lui du fait de la présence quasi inexistante de l'os basal, est essentiellement un os spongieux.

- **L'épaisseur des corticales**

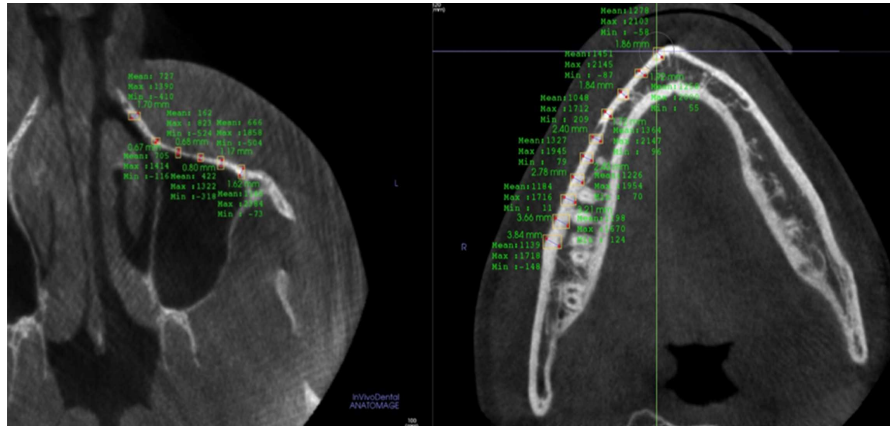


Illustration 12: Section maxillaire et mandibulaire avec les mesures de la densité et de l'épaisseur de la corticale de l'os maxillaire et mandibulaire (13)

Même si l'évolution antéro-postérieure de l'épaisseur des corticales à la mandibule et au maxillaire est similaire et croissante, la corticale osseuse est significativement plus épaisse à la mandibule qu'au maxillaire, jusqu'à deux fois plus épaisse à certains endroits. Dans son étude, *Holmes* constate que la mandibule présente une proportion significativement plus élevée de sites présentant une épaisseur de corticale supérieure à 1,5 mm par rapport au maxillaire. On retrouve le double : ces sites représentent 22 % à la mandibule contre 11% au maxillaire (37).

- **La densité**

À la mandibule, tout comme l'épaisseur, la densité de l'os est plus importante en région postérieure et diminue progressivement en allant vers la région antérieure. Alors qu'au maxillaire, l'os est plus dense en région antérieure, plus significativement en palatin, et moins dense en région postérieure. La classification de *Lekholm et Zarb* peut être mise en parallèle avec la classification de *Norton* qui réalise une échelle objective de la densité osseuse à l'aide de la tomodynamométrie. Cette dernière, basée sur l'échelle de Hounsfield (Hu), démontre qu'il existe une forte corrélation entre la densité osseuse et le score de qualité subjective ($P= 0,002$) mais aussi entre le score de densité osseuse et la région buccale (38). D'une manière générale, la mandibule est plus dense que le maxillaire.

Qualité d'os Lekholm et Zarb	Echelle de la densité osseuse Norton et Gamble (HU)	Site anatomique
Classe I	> +850	Mandibule antérieure
Classe II et III	De +500 à +850	Mandibule postérieure/Maxillaire antérieur
Classe IV	0 à +500	Maxillaire postérieur
Classe IV+	< 0	Région tubérositaire maxillaire

Tableau 1: Tableau sur la classification de Lekholm et Zarb associée à la classification de Norton en fonction du site anatomique

2. La cicatrisation osseuse après extraction

La compréhension des processus biologiques sous-jacents à la cicatrisation des os et des tissus mous après une extraction dentaire est importante à comprendre afin de mieux prendre en charge l'extraction dentaire, surtout si la solution thérapeutique est l'implant.

2.1. La cicatrisation tissulaire

2.1.1. Études histologiques

2.1.1.1. Animales

De nombreux auteurs comme *Cardaropoli* (39), *Arauja, Discepoli et al.* (40), ont réalisés des études sur des animaux pour mieux déterminer les modifications histologiques et tissulaires qui surviennent après une extraction dentaire. Dans la littérature, les études animales sont plus présentes que les études humaines.

En 2013, *Discepoli et al.* ont menés une étude sur 16 chiens. Une racine distale d'une prémolaire a été extraite sur chacun des chiens. Ils ont ensuite observés les alvéoles extractionnelles à 5 périodes différentes : 4h, 1 semaine, 2 semaines, 4 semaines et 8 semaines. Voici les résultats analysés suite à une évaluation histologique :

- 4h : l'alvéole était occupée par un caillot de sang. De la fibrine entoure un réseau de cellules inflammatoires et érythrocytes.
- 1 semaine : Le caillot est progressivement résorbé et un tissu conjonctif immature appelé « matrice provisoire » prend sa place et comble l'alvéole. Cette « matrice provisoire » est caractérisée par la présence de néo-vaisseaux et d'un réseau de fibres de collagène désorganisées. Des petits îlots d'os minéralisé sont identifiés à proximité des vaisseaux.
- 2 semaines : l'activité ostéoblastique s'intensifie. La quantité de tissu minéralisé augmente et remplit l'alvéole en commençant par la partie apicale vers la partie marginale coronaire.
- 4 semaines : l'os lamellaire naît en surface alors que de la moelle osseuse apparaît dans la portion apicale de l'alvéole.
- 8 semaines : Il y a un phénomène de « corticalisation » : un pont d'os se crée à la partie coronaire de l'alvéole. Au dessus, des faisceaux de collagène organisés s'y attachent et forment alors le périoste avec l'os lamellaire.

Dans son étude, *Cardaropoli et al.* en 2003 (39) étudie les événements post-extractionnels impliqués dans la cicatrisation du tissu osseux, de la formation du caillot à la formation et remodelage du nouveau tissu osseux. Une prémolaire mandibulaire sur 9 chiens ont été sélectionnées pour l'expérience : la portion distale était extraite alors que la portion mésiale de la dent restait dans l'alvéole. Des coupes mésio-distales de l'alvéole ont

été réalisées à J1, J3, J7, J14, J30, J60, J90, J120 et J180 dans le but de réaliser un examen histologique. Des mesures morphologiques ont été effectuées pour déterminer le volume occupé par les différents tissus dans l'alvéole en général, mais aussi dans la portion apicale, centrale et marginale de l'alvéole à différents intervalles.

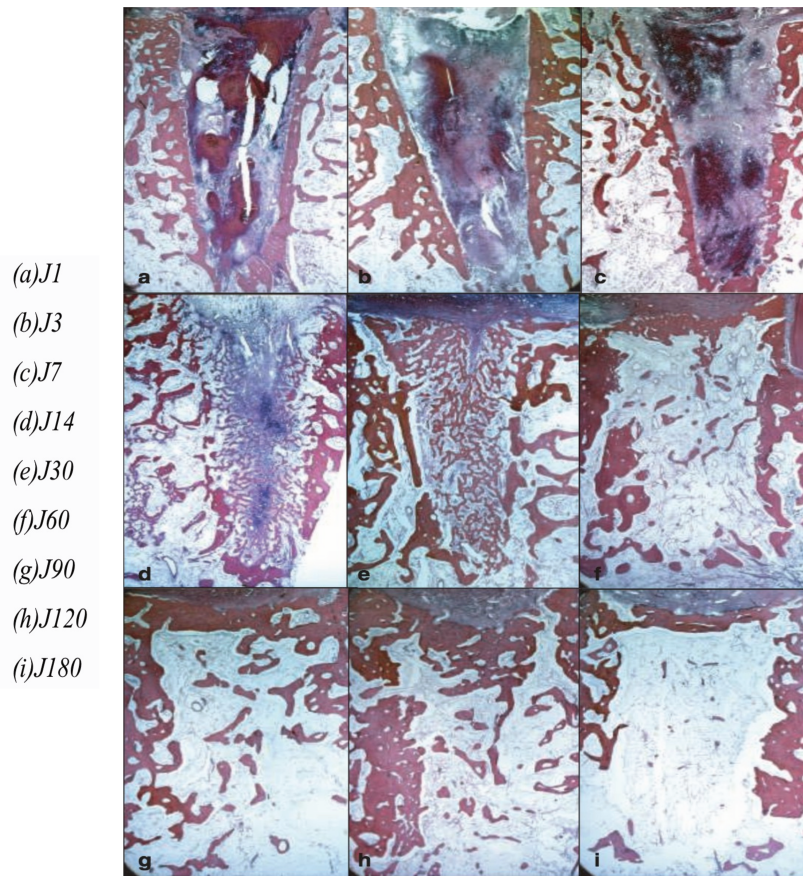


Illustration 13: coupe mésio-distal d'une alvéole post-extractionnelle à différents intervalles (x16)(39)

Durant les trois premiers jours de guérison, un caillot sanguin occupe la plus grande partie de l'alvéole. Après sept jours, ce caillot est partiellement remplacé par une matrice tissulaire conjonctive provisoire. Au 14^{ème} jour, l'alvéole est remplie de la matrice conjonctive provisoire et d'os minéralisé. Au 30^{ème} jour, l'os se minéralise et occupe presque 90 % du volume de l'alvéole. Au jour 60, l'os spongieux est présent à 75 % et augmente à 85 % au jour 180. L'os minéralisé lui tend à diminuer jusqu'au jour 180 et n'existe plus qu'à 15 %.

	1 day	3 days	7 days	14 days	30 days	60 days	90 days	120 days	180 days
CLOT	99.5 (0.6)	99.5 (0.6)	48 (41.9)	0	0	0	0	0	0
GT	0.5 (0.6)	0.5 (0.6)	4 (7.5)	3 (5.7)	0	0	0	0	0
PCT	0	0	48 (47.1)	49 (23.8)	12 (8.6)	0	0	0	0
MB	0	0	0	48 (29.4)	88 (8.7)	23 (15.2)	37 (12)	29 (14.7)	15 (11.1)
BM	0	0	0	0	0	77 (15.1)	63 (11.4)	71 (14.3)	85 (11.2)

Tableau 2: Proportion des différents tissus dans l'alvéole aux différents intervalles (39)

CLOT: caillot sanguin ; GT: tissu de granulation ; PCT: matrice tissu conjonctif provisoire ;
MB: os minéralisé ; BM: os spongieux

2.1.1.2. Humaines

De nombreux auteurs comme *Almer* (1969), *Evian et coll* (1982), et *Trombelli et coll* (2008) ont réalisé des études sur des humains grâce à des biopsies d'alvéoles post-extractionnelles. *Almer* est l'un des premiers auteurs à avoir réalisé, grâce à des tests immunohistochimiques, une étude sur la cicatrisation alvéolaire sur des patients (41). Depuis, beaucoup de publications et revues littéraires font référence à son étude. En 1969 son étude est menée sur des patients âgés de 30 à 50 ans en bonne santé. Environ 185 biopsies ont été réalisées sur des sites d'extraction à différents moments de la cicatrisation (de T0 à J32) (42) :

- Quelques temps après l'extraction, l'hémorragie cesse, puis un caillot sanguin se forme.
- 3 jours après l'extraction, le caillot est toujours présent mais commence à être progressivement remplacé par du tissu de granulation constitué de cellules mésenchymateuses et de fibroblastes.
- Au 4ème jour après l'extraction, le tissu de granulation gagne de l'espace au dépend du caillot, et, du tissu conjonctif immature ainsi que du tissu épithélium apparaissent.
- Au bout d'une semaine, le volume alvéolaire est occupé par du tissu de granulation ainsi que du tissu conjonctif à la périphérie. Des zones de minéralisation dans le fond de l'alvéole appelées tissu ostéoïde commencent à se former parallèlement.
- 20 jours après l'avulsion, l'alvéole est principalement remplie de tissu conjonctif. La néoformation osseuse ostéoïde comble de plus en plus l'alvéole. L'épithélium progresse.
- 40 jours après l'extraction, l'épithélium qui recouvre le site de l'extraction est cicatrisé. L'alvéole est comblée par un os immature trabéculaire principalement et par du tissu conjonctif.

Tissu	Jour après extraction
Formation du caillot	0 (jour de l'extraction)
Remplacement du caillot par du tissu de granulation	7
Remplacement du tissu de granulation par du tissu conjonctif	20
Apparition de tissu ostéoïde au fond de l'alvéole	7
Occupation d'au moins 2/3 de l'alvéole par de l'os spongieux	28
Mise en évidence d'épithélialisation	4
Fusion de l'épithélium	De 24 jours à 35 jours ou plus

Tableau 3: Les différentes étapes de cicatrisation d'une alvéole post-extractionnelle selon *Amler* (42)

L'étude d'*Almer* reste une référence dans les données de la littérature, cependant les observations ont été menées sur une courte période de 40 jours: ceci constitue son principal défaut car la cicatrisation alvéolaire continue bien au delà de 40 jours, jusqu'à 6 mois (43).

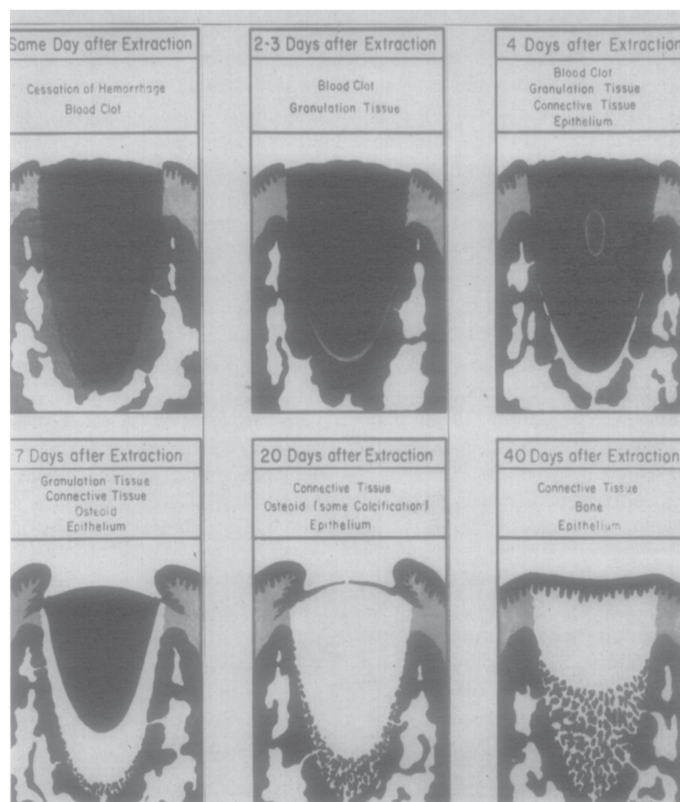


Illustration 14: Cicatrisation alvéolaire du jour de l'extraction jusqu'au 40ème jour selon Almer (42)

Dans une autre analyse, *Evian et coll* (44) ont étudié sous microscope la cicatrisation alvéolaire sur 10 personnes. L'avantage de cette expérience est d'étudier sur une plus longue échelle (jusque 4 mois) la cicatrisation alvéolaire. Les résultats détaillent des biopsies de la 4ème semaine de cicatrisation jusqu'à la 16ème semaine post-extractionnelle.

- Les résultats montrent que la période entre la 4ème et 8ème semaine représentent une phase d'ostéogénèse active qui tend à diminuer à partir de la 8ème semaine. En effet durant la 4ème semaine, un tissu conjonctif riche en fibroblastes, ainsi que des éléments cellulaires, prolifèrent dans l'alvéole. Des néoformations d'os immature entourées d'ostéode apparaissent.
- De la 8ème à la 12ème semaine, l'os subit sa maturation et un réseau trabéculaire s'organise. L'activité ostéoclastique tend à diminuer à partir de la 8ème semaine. Cependant, le volume osseux est supérieur au volume du tissu conjonctif.
- De la 12ème semaine à la 16ème semaine, les travées osseuses sont matures, l'activité d'ostéogénèse est quasi inexistante. À la 16ème semaine, le site extractionnel est occupé par un os trabéculaire mature et dense recouvert d'un tissu conjonctif vascularisé.

Trombelli et coll (43) quant à eux ont étudié sur 6 mois les changements tissulaires et les populations tissulaires présents lors de la cicatrisation alvéolaire. 27 biopsies ont été réalisées sur 24 patients.

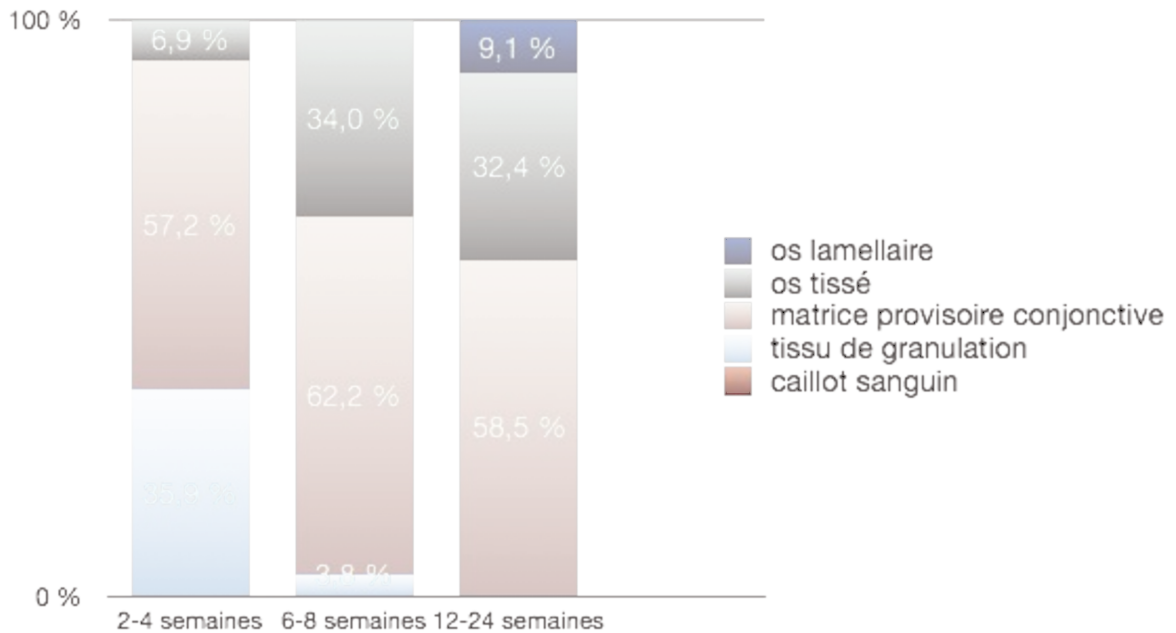


Illustration 15: Pourcentage moyen des différents composants tissulaires calculé à des temps différents (43)

Selon les auteurs, lors de la cicatrisation alvéolaire de nombreux éléments et tissus apparaissent au fur et à mesure : tissu de granulation riche en vaisseaux fibroblastes et cellules inflammatoires, tissu conjonctif, os trabéculaire et os lamellaire.

- Après 2 semaines de cicatrisation, l'alvéole est essentiellement remplie d'un tissu de granulation riche en vaisseaux, fibroblastes et cellules inflammatoires et d'un tissu conjonctif.
- A partir de la 4ème semaine, la matrice conjonctive augmente au dépend du tissu de granulation. Quelques cellules inflammatoires peuvent être observées (leucocytes, lymphocyte) et tendent à disparaître.
- A partir de la 6ème semaine, l'os trabéculaire se développe près d'un réseau vasculaire au dépend du tissu conjonctif. En moyenne, le tissu conjonctif représente 62 % et l'os trabéculaire 34 %
- A partir de la 12ème semaine, la maturation tissulaire débute, l'os trabéculaire est en grande quantité dans l'alvéole et de l'os lamellaire (riche en vaisseaux, adipocytes, cellules inflammatoires et mésenchymateuses) apparaît.
- A la 24ème semaine (6 mois), l'alvéole est remplie d'un tissu conjonctif à 58 %, d'un os trabéculaire à 32 % et d'un os lamellaire à 10 %.

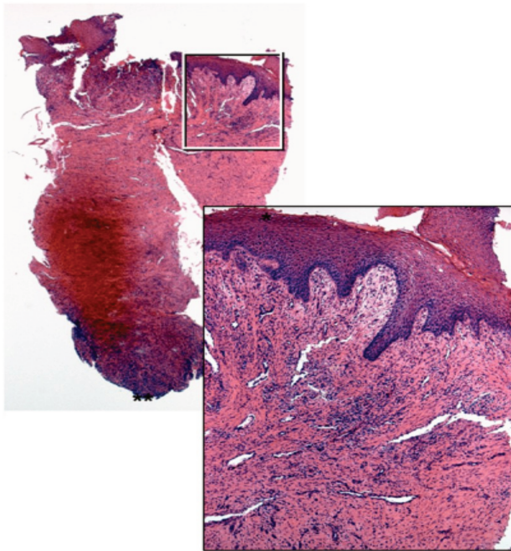


Illustration 17: Biopsie après 3 semaines de cicatrisation alvéolaire où l'on observe le tissu de granulation - Trombelli et coll (43)

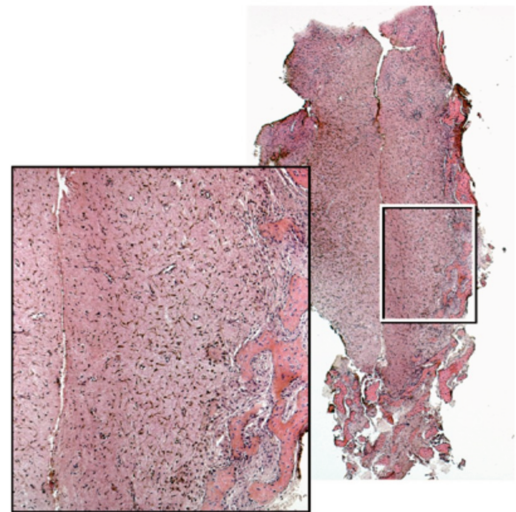


Illustration 16: Biopsie après 1 mois de cicatrisation alvéolaire où l'on observe du tissu conjonctif immature - Tombelli et coll (43)

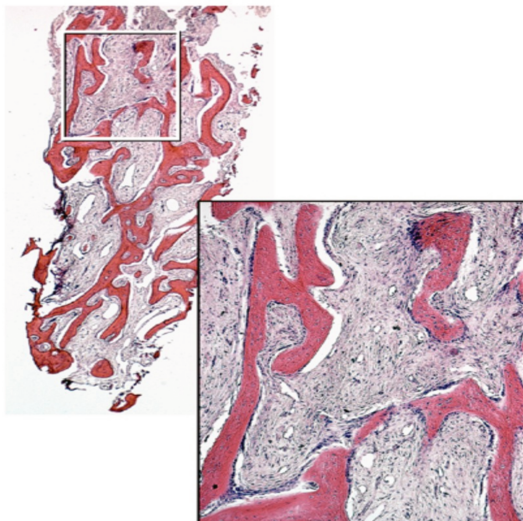


Illustration 19: Biopsie après un mois et demi de cicatrisation alvéolaire où l'on observe des trabécules d'os spongieux immature - Trombelli et coll (43)

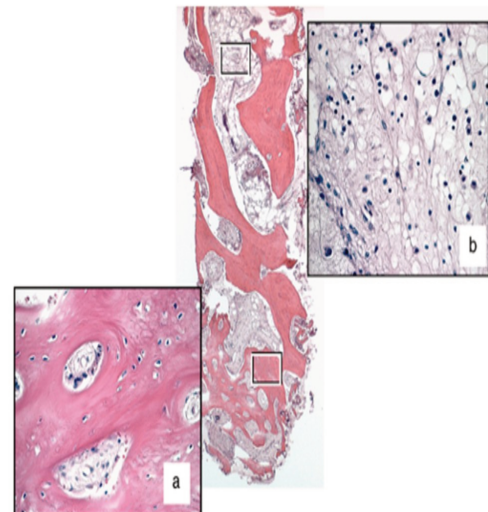


Illustration 18: Biopsie après trois mois de cicatrisation alvéolaire où l'on observe de l'os spongieux et lamellaire dans une matrice non minéralisée - Trombelli et coll (43)

2.1.1.3. Conclusion des études

La comparaison de ces études démontre un schéma de cicatrisation commun chez l'homme. Cependant, la vitesse de cicatrisation varie selon les individus : des variabilités sont à prendre en considération en fonction de l'âge, mais aussi de la localisation du site extractionnel : la présence de tissu osseux mature peut varier entre 3 et 6 mois (43,45).

2.1.2. Chronologie de la cicatrisation alvéolaire post-extractionnelle

En rassemblant et synthétisant les données de la littérature, nous allons résumer de manière chronologique et détaillée les événements qui surviennent dans l'alvéole dentaire au cours des heures, jours et mois suivant une avulsion dentaire.

2.1.2.1. Comblement de l'alvéole

- **J0 : formation du caillot : l'hémostase primaire et secondaire.**

L'hémostase débute immédiatement après l'avulsion d'une dent. Le sang remplit l'alvéole, coagule et forme un caillot sanguin au bout de quelques minutes. Ce caillot joue un rôle important et conditionne une bonne cicatrisation. L'hémostase a trois phases distinctes mais dépendantes les unes des autres, qui se succèdent (46) : l'hémostase primaire, l'hémostase secondaire et la fibrinolyse. Au cours de ce premier temps, seule l'hémostase primaire et secondaire sont concernées. La fibrinolyse quant à elle intervient plus tard vers le 3ème jour :

- L'hémostase primaire est composée d'une phase vasculaire puis d'une phase plaquettaire. Il survient dans un premier temps une vasoconstriction des vaisseaux qui réduit le débit sanguin, puis une adhésion des plaquettes au sous-endothélium. Celles-ci se lient au collagène des parois vasculaires exposées, s'agrègent grâce au fibrinogène et forment un clou plaquettaire ou clou hémostatique de Hayem.
- L'hémostase secondaire correspond au temps de la coagulation. Par le biais de la thrombine qui transforme le fibrinogène en fibrine, un réseau de fibrine vient enserrer et consolider le clou plaquettaire.

La formation du caillot sanguin riche en cellules inflammatoires, fibrine, plaquettes, globules blancs et globules rouges est donc la première étape de la cicatrisation alvéolaire.

2.1.2.2. Cicatrisation tissulaire

La cicatrisation tissulaire correspond à une phase de réparation. La cicatrisation osseuse est assez longue. Elle peut s'étendre jusque 6 mois alors que la cicatrisation épithéliale est courte et dure 1 mois à peu près (47).

- **Jour 3 : Fibrinolyse et apparition du tissu de granulation.**

Au 3ème jour, un processus de défense apparaît. Des polynucléaires principalement des leucocytes envahissent l'alvéole et créent une réaction inflammatoire. Ces leucocytes sont ensuite remplacés par des macrophages qui phagocytent les débris. Cette phase correspond à une phase de déterision (élimination des tissus nécrosés). A ce stade, suite à un processus enzymatique mettant en jeu la plasmine, le caillot de fibrine se dissout et est progressivement envahi par des polynucléaires neutrophiles, des monocytes et des fibroblastes : la fibrinolyse commence.

Le caillot est remplacé au fur et à mesure du temps par un tissu de granulation très vascularisé. Des capillaires se forment à travers le réseau de fibrine et les fibroblastes produisent du collagène. On note aussi qu'à ce stade la cicatrisation épithéliale commence : l'épithélium est plan et dépourvu de digitation.

- **Jour 7 : apparition d'une matrice conjonctive et tissu ostéoïde.**

Au bout de 7 jours, comme l'ont démontré *Almer* et d'autres auteurs, une matrice conjonctive immature riche en fibroblastes apparaît dans la portion apicale de l'alvéole et s'étend vers la partie marginale au dépend du tissu de granulation. À proximité des vaisseaux, les ostéoblastes se développent et secrètent des îlots d'os néo-formés ou tissu ostéoïde : l'ostéogénèse commence.

- **À 2 semaines : disparition du ligament parodontal, et formation d'os spongieux immature.**

Deux semaines après l'extraction, le ligament parodontal disparaît. L'activité ostéoblastique s'intensifie, essentiellement sur les parois internes de l'alvéole. Le tissu ostéoïde se calcifie : de l'os spongieux immature apparaît et s'étend de manière centripète, du fond de l'alvéole et des parois alvéolaires, au centre de l'alvéole. Cet os immature est riche en vaisseaux et ses fibres de collagène sont réparties sans aucune organisation. La quantité d'os néo-formé va progressivement augmenter jusque 1 mois, au dépend de la matrice conjonctive, puis il sera remanié car il est mécaniquement fragile. À ce stade, l'alvéole est alors remplie d'une matrice conjonctive provisoire et d'un os spongieux immature. On note la présence d'espace de moelle osseuse primitive.

- **À 1 mois : fusion des épithéliums.**

A ce stade, l'alvéole est recouverte d'un épithélium kératinisé, les épithéliums fusionnent: c'est la cicatrisation épithéliale. L'alvéole est principalement remplie de tissu osseux trabéculaire à 70 % et du tissu de granulation à 30 %. Le remodelage osseux commence.

- **À 3 mois : apparition de l'os lamellaire et du périoste.**

À partir du 3ème mois, on observe l'apparition d'os lamellaire. On assiste à la formation d'un pont d'os cortical immature qui sépare l'ancien site d'extraction de la muqueuse. Des fibres de collagène bien organisées provenant de la muqueuse sus-jacente s'y attachent et forment alors le périoste.

- **À 6 mois : remaniement osseux**

Le pont d'os corticalisé se renforce par l'apposition d'os lamellaire. L'alvéole est remplie d'un mélange de tissu osseux trabéculaire et lamellaire. Le remodelage osseux continue. Cependant, la nouvelle crête osseuse n'atteindra jamais l'ancien niveau osseux denté.

2.2. Le remodelage osseux et sa physiologie

Selon *Saffar et all* (4) pour absorber les forces et contraintes qu'a l'environnement sur la mâchoire, l'os alvéolaire est en permanence dans un processus de remaniement osseux et se forme et se résorbe en fonction des forces et contraintes qu'il reçoit (Loi de Wolff) (48). Après une extraction dentaire, l'os cicatrise puis subit ce remaniement osseux accompagné d'une résorption.

Le remodelage osseux a plusieurs rôles dont:

- l'adaptation géométrique de l'os à la croissance ou aux contraintes
- la conservation des propriétés mécaniques de l'os
- la réparation des fractures
- l'homéostasie du Calcium

Le remodelage osseux est « un processus dynamique et cellulaire », sa labilité physiologique est maintenue par un équilibre constant entre le phénomène de formation et de résorption de l'os, assurant ainsi le renouvellement des structures osseuses et leur maintien. C'est un processus biologique complexe régulé par un réseau d'interactions entre les cellules osseuses, des facteurs systémiques, des facteurs de croissances, des hormones mais aussi des cytokines (49).

C'est dans les années 60 que *Frost* décrit pour la première fois le cycle du remodelage osseux en séquence de 3 étapes: activation, résorption puis formation (ARF). D'autres auteurs s'y sont intéressés et ont apportés des modifications. Dans les années 70, *Baron* ajoute une étape supplémentaire entre la phase de résorption et de formation : l'inversion. Le remodelage osseux suit alors la séquence ARIF et se divise en 4 phases chronologiques : l'activation, la résorption, l'inversion puis l'apposition. Ces 4 phases sont succédées par une phase de quiescence (50).

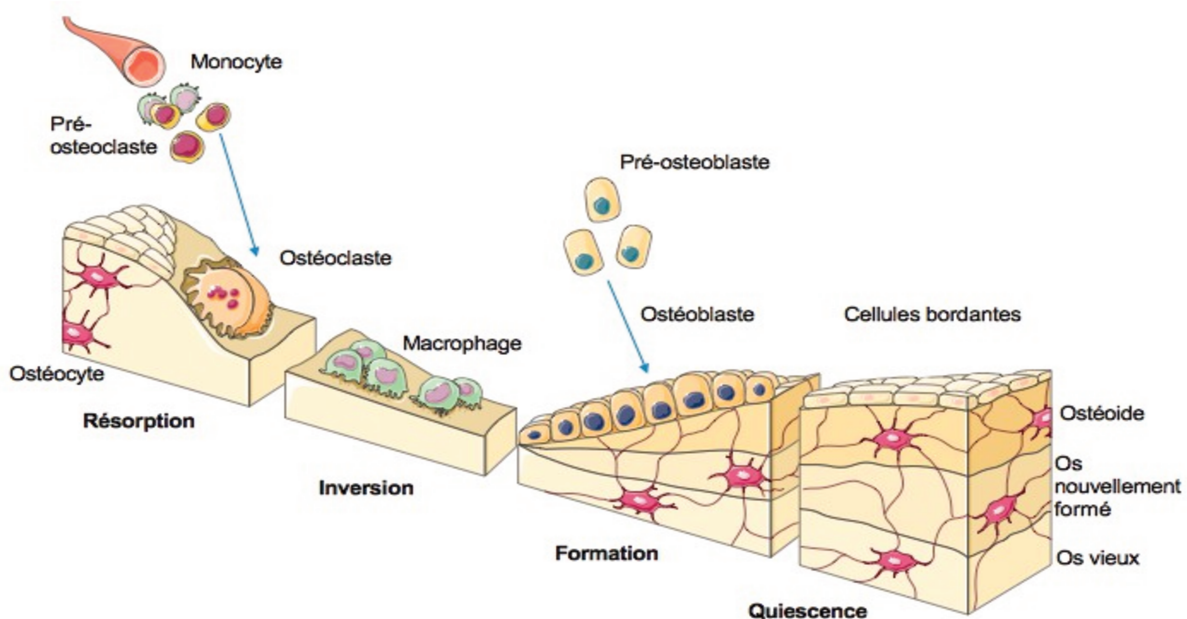


Illustration 20: Schéma du cycle du remodelage osseux (50)

Le remodelage osseux s'effectue dans une structure particulière bien définie appelée « unité multicellulaire de base » ou BMU (Basal Multicellular Unit) où agissent de façon coordonnée et séquentielle dans le temps et dans l'espace des ostéoclastes qui résorbent l'os, et des ostéoblastes qui apposent un tissu ostéoïde. Chez un adulte on retrouve des millions de BMUs en interaction avec les différentes cellules (51,52).

Au sein des BMUs, il existe une disposition unique des cellules, les ostéoclastes forment un front en résorbant l'os, les cellules d'inversion recouvrent la surface de l'os nouvellement exposée. Les ostéoblastes quant à eux occupent l'arrière des BMUs et secrètent un tissu ostéoïde qui se minéralisera au cours du temps (53).

Du fait d'une plus grande surface de contact entre les cellules osseuses et le tissu hématopoïétique dans l'os spongieux, lors du remodelage osseux, les BMUs de ce dernier se renouvellent plus rapidement que celle présente dans l'os cortical. Chaque année, un adulte renouvelle 25% de son os spongieux contre seulement 4% de son os cortical (54).

Chaque cycle de remodelage dure 4 mois, la phase de résorption (3 mois) est beaucoup plus courte que la phase de formation (3 semaines).

2.2.1. L'activation

L'activation est la première phase du cycle de remodelage. Il s'agit de la phase de recrutement des précurseurs ostéoclastiques. Elle implique la détection d'un signal qui initie le remodelage. Une contrainte mécanique directement appliquée sur l'os ou encore une action hormonale en réponse à un changement de l'homéostasie systémique peuvent être à l'origine de ces signaux (53) et mettront en jeu respectivement les ostéocytes et l'hormone PTH.

- Les ostéocytes

Dans la littérature, le rôle des ostéoclastes et ostéoblastes dans le remodelage osseux est prédominant. Cependant de nouvelles données démontrent que les ostéocytes sont aussi très impliqués notamment dans la phase d'activation (55). Dans des conditions normales, les ostéocytes secrètent des facteurs de croissance comme TGF- β qui inhibe la différenciation ostéoclastique et expriment la sclérostine (un puissant inhibiteur de formation) et des cytokines (qui régulent la production d'ostéoclastes et participent au recrutement et à la différenciation des précurseurs des ostéoclastes).

Ils proviennent des ostéoblastes et communiquent entre eux grâce à leur prolongement dendritiques mais aussi avec les cellules de la surface de l'os ou encore les cellules de la moelle. Les ostéocytes sont extrêmement sensibles aux contraintes mécaniques, et détectent ces changements et en les traduisent en signaux biologiques qui initient le remodelage. Un stimuli provoque l'apoptose des ostéocytes, ce qui entraîne la baisse des TGF- β et une suppression des signaux inhibiteurs de l'ostéoclastogénèse. Les ostéocytes apoptotiques déclenchent alors des signaux qui attirent les précurseurs d'ostéoclastes vers des zones spécifiques de l'os qui à leur tour se différencient en ostéoclastes (56,57).

- L'hormone PHT

L'activation peut aussi être déclenchée par l'action de l'hormone PHT (parathormone thyroïdienne) suite à un changement de l'homéostasie systémique. Cette hormone endocrinienne calciotrope est sécrétée par la thyroïde pour maintenir l'homéostasie du calcium et le métabolisme osseux. Une analyse récente sur l'intervention des différents mécanismes cellulaires et moléculaires démontre que la PHT influence réellement l'homéostasie osseuse (58).

Une baisse de la calcémie induit une augmentation de la PHT et se caractérisera par une perte osseuse due à un remodelage osseux déséquilibré favorisant la résorption. La PHT va alors se fixer à un récepteur trans-membranaire accouplé à la protéine G sur la surface des ostéoblastes. Cette liaison provoque l'activation de la protéine kinase A et C dans l'ostéoblaste qui induira la différenciation et l'activation des ostéoclastes (53). Elle agit sur les cellules pré-ostéoblastiques qui vont exprimer des facteurs locaux de différenciation ostéoclastique comme RANK-L, module l'activité du TGF- β et induit la synthèse de nombreux facteurs locaux comme IL-6. Les récepteurs de cette hormone sont présents uniquement sur les cellules de la lignée ostéoblastique et non sur les ostéoclastes (59).

Des études récentes sur des souris ont démontré que les ostéocytes représentent des cibles essentielles de la PHT augmentant ainsi la production de RANK-L. La délétion du récepteur de la PHT sur des cellules de souris présentent une diminution de la résorption osseuse. (60)

Les effets de cette hormone sont médiés par des ostéoblastes, ostéocytes et aussi par les lymphocytes.

- Autres modulateurs

L'homéostasie osseuse est régulée par la voie de signalisation Wnt. Elle contrôle la prolifération et différenciation cellulaire, la polarité et la migration par des voies canoniques et non canoniques. La β caténine est le transducteur nécessaire pour la signalisation Wnt canonique. Une étude identifie les ostéocytes en tant que médiateurs de l'effet anabolisant de la signalisation canonique Wnt/ β caténine dans l'os : l'inactivation de la β caténine dans les ostéocytes semble ne pas affecter la différenciation ostéoblastique mais augmente la différenciation ostéoclastique et la résorption osseuse (61).

Au cours des dix dernières années, de nombreuses études ont reconnu le rôle des cellules immunitaires, notamment les lymphocytes T, dans la régulation de la résorption et de la formation osseuse. Les lymphocytes T sécrètent des cytokines ostéoclastogénèses comme RANK-L, TNF α et IL 17 ainsi que des facteurs stimulants la formation osseuse comme les ligands Wnt. Elles régulent le renouvellement osseux et la réactivité des cellules osseuses aux hormones calciotropes comme l'hormone PHT (62). L'IL7 produite par les cellules T agit comme une cytokine en amont qui augmente la sensibilité des ostéoblastes et des ostéocytes à la PHT (63).

2.2.2. La résorption

La résorption est la seconde étape de la séquence ARIF. En réponse au signal transmis par le biais des ostéocytes ou des hormones, une cascade de différenciation des ostéoclastes ainsi qu'un cycle de résorption apparaît.

2.2.2.1. Différenciation et activation des ostéoclastes.

Les ostéoclastes dérivent des cellules hématopoïétiques et ont une origine commune avec les macrophages et monocytes. Ce sont les principales cellules responsables de la résorption osseuse. Leur différenciation de pré-ostéoclaste en ostéoclastes et leur fonction sont initiées et régulées grâce à des interactions protéiniques dérivées de l'ostéoblaste.

En réponse à différentes stimulations, les ostéoblastes vont synthétiser et exprimer :

- une molécule de la famille de TNF : RANK-L (*receptor activator of NK-kB ligand*)
- une cytokine M-CSF (*macrophage-colony stimulating factor*).
- La chimiokine MCP-1 (*monocyte attractan protein 1*), protéine précurseur des ostéoclastes, produite par les ostéoblastes et induite par la PHT.
- Des MPPs (*métalloprotéinases matricielles*)

Les pré-ostéoclastes expriment quant à eux:

- RANK qui appartient à la famille des récepteurs de TNFs
- C-fms.

La différenciation ostéoclastique est menée par la liaison C-fms/M-CSF et surtout RANK/RANK-L. Une étude a été menée sur des souris transgéniques déficientes du gène RANK. Ces souris ont présenté une ostéopétrose ainsi qu'une absence totale d'ostéoclaste. RANK est essentiel à la survie et différenciation des ostéoclastes (64). RANK-L favorise la prolifération des précurseurs des ostéoclastes, coordonne leur différenciation en ostéoclastes polynuclés, et favorise l'activité de résorption. C-fms/M-CSF est indispensable à la différenciation ostéoclastique mais pas suffisant : il faut qu'il soit associé à la liaison RANK/RANK-L.

D'un autre côté les cytokines jouent aussi un rôle important dans l'ostéoclastogénèse, les cytokines inflammatoires comme IL-1 (interleukine 1) et TNF α stimulent la synthèse de RANK-L et M-CSF par les ostéoblastes, ce qui augmente la destruction osseuse (65).

A l'inverse, l'OPG (*ostéoprotégérine*) est une protéine soluble des récepteurs des TNFs dont la structure est proche de RANK, elle est capable de rentrer en compétition avec RANK et de se fixer sur le récepteur RANK-L et ainsi bloquer la différenciation ostéoclastique. Elle aurait aussi la capacité d'induire l'apoptose des ostéoclastes. La sur-expression de cette protéine entraîne une augmentation de la densité osseuse ainsi qu'une

ostéopérose. Chez le rat, l'administration d'OPG provoque une augmentation de la densité minérale osseuse accompagnée d'une diminution d'ostéoclastes actifs (66).

La combinaison RANK/RANK-L stimule la différenciation ostéoclastique alors que la combinaison RANK/ OPG l'inhibe (67).

=> RANKL et M-CFS sont donc deux facteurs majeurs qui contribuent à la différenciation et maturation des ostéoclastes.(68)

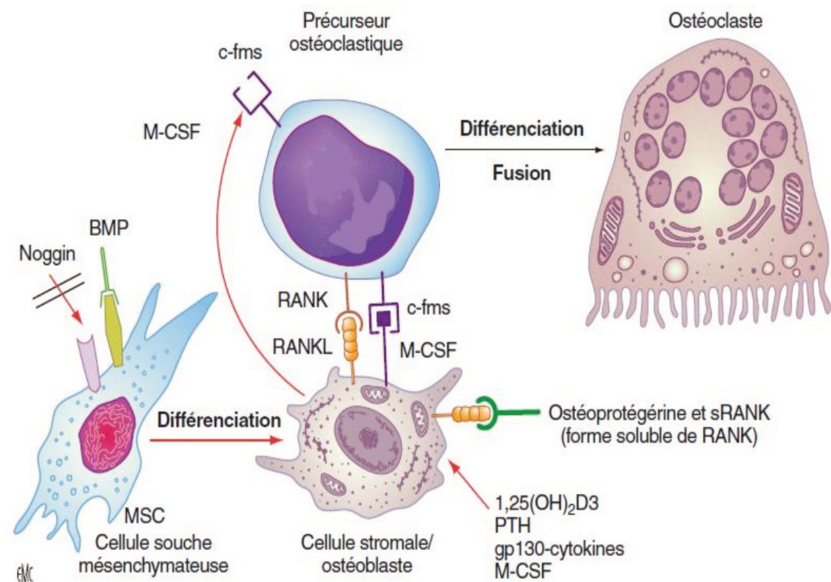


Illustration 21: différenciation et activation de l'ostéoclaste (64)

La maturation de l'ostéoclaste et l'acquisition de ses fonctions se font après leur migration vers la surface osseuse. L'acquisition d'une bipolarité morphologique phénotypique et fonctionnelle est essentielle à la fonction de résorption osseuse de l'ostéoclaste :

- le pôle apicale en regard de la matrice osseuse s'attache à la matrice et comprend la zone d'attachement. Il délivre essentiellement des enzymes lysosomiales (phosphatase acide, cystéine protéinase dont la cathépsine K) et des MPPs qui vont dégrader la matrice. Sa bordure en brosse est le siège d'une sécrétion spécifique de protons (grâce à la pompe ATPase vacuolaire) qui acidifie le compartiment de résorption osseuse. Parallèlement à cette pompe à protons ATPase, des canaux chlorés sont aussi présents sur la bordure en brosse et sont indispensables pour l'équilibre des charges.
- Son pôle opposé ou basolatéral maintient l'équilibre électrochimique de l'ostéoclaste et contient de nombreux récepteurs et canaux ioniques nécessaires à sa fonction. Il comprend un excréteur d'acide : un échangeur Na^+/H^+ qui permet l'élimination des protons; et un excréteur de base : un échangeur HCO_2^- et Cl^- qui acidifient le cytoplasme (69).

2.2.2.2. Déroulement du cycle de résorption

Dans un premier temps, les MPPs dont les MMP13 secrétées par les ostéoblastes, **dégradent l'ostéoïde** non minéralisé présent sur la surface osseuse et exposent alors des sites d'adhésion sur l'os minéralisé, favorisant la fixation des ostéoclastes sur ces sites (53). Dès lors que le tissu non minéralisé est dégradé et que les ostéoclastes forment des cellules multinuclées mûres, celles-ci s'attachent et adhèrent à la surface de l'os minéralisé par l'intermédiaire du récepteur de l'intégrine $\alpha\beta3$ présent sur l'ostéoclaste (70). Il se forme alors une zone de scellement qui permet d'isoler une « poche de résorption » grâce à un cytosquelette d'actine. Chaque point d'adhésion entre l'ostéoclaste et la matrice osseuse est appelé podosome.

L'ostéoclaste **alterne des phases de migration** le long de la surface osseuse et des **phases de résorption** créant des lacunes de résorption. Pendant la phase migratoire les ostéoclastes rompent les podosomes situés dans la partie antérieure, la motilité des ostéoclastes est principalement contrôlée par la réorganisation du cytosquelette d'actine. Les phases d'attachement et de détachement reposent sur le rôle des intégrines présentes à la surface membranaire de l'ostéoclaste. Pendant la phase de résorption active, sous l'action de l'anhydrase carbonique II, la pompe à protons ATPase relargue dans la zone de scellement des ions H^+ qui acidifient le compartiment en diminuant le pH et dissolvent l'os minéralisé produisant des lacunes de résorption appelée lacune de Howship. La matrice osseuse restante est ensuite résorbée par les MPPs et les enzymes lysosomiales de type collagénase notamment la cathépsine K. Après un nombre de cycle déterminé, l'ostéoclaste rentre en apoptose.

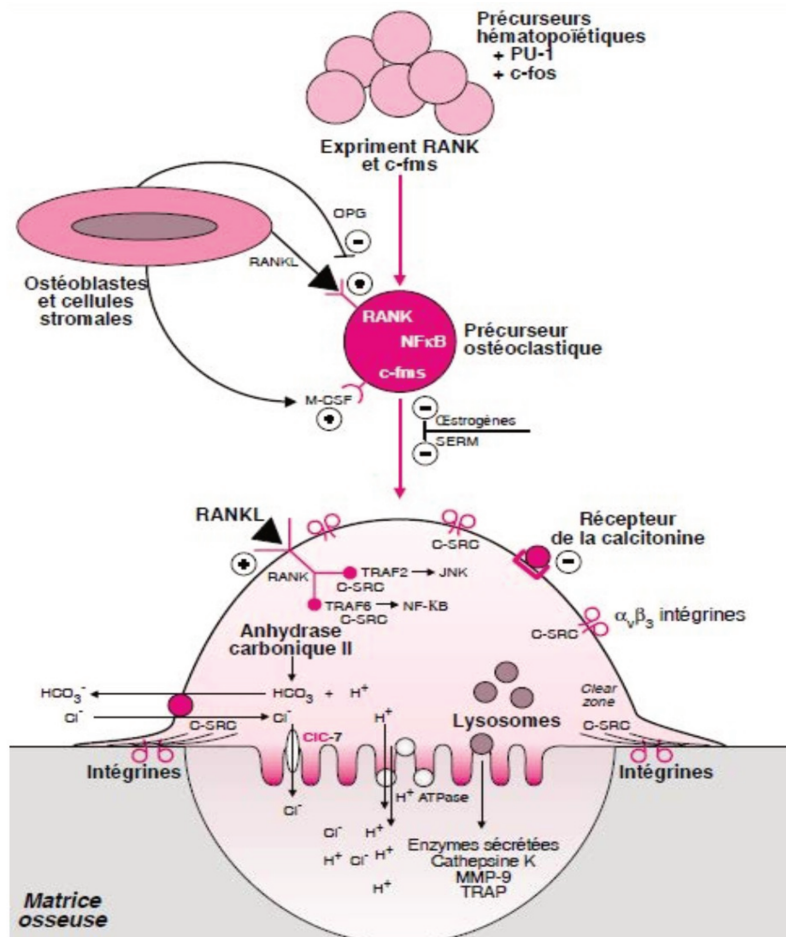


Illustration 22: Adhésion de l'ostéoclaste à la matrice osseuse et la résorption (69)

2.2.3. L'inversion

Après la phase de résorption osseuse menée par les ostéoclastes, des fibres de collagènes non digérées restent présentes dans les lacunes de Howship. Les ostéoclastes sont alors remplacés par des cellules mononuclées accomplissant plusieurs rôles :

- elles lissent le fond de la cavité creusée afin d'éliminer les restes de collagène.
- elles préparent la surface de l'os à la phase de formation menée par les ostéoblastes.
- elles produisent des signaux de couplage permettant la transition entre la résorption et la formation au sein des BMUs.

Plusieurs origines existent quant à la nature phénotypique de ces cellules mononuclées. Initialement, des recherches ont affirmées qu'elle étaient des monocytes phagocytaires. Plus récemment, des études ont montrés qu'elles pourraient provenir de la lignée ostéoblastique car elles expriment la phosphatase alcaline et non le marqueur monocyte macrophage MOMA-2. Enfin de nouvelles découvertes affirment que macrophages (qui peuvent exprimer la phosphatase alcaline) et ostéoblastes sont des cellules d'inversion et travaillent ensemble au cours de cette phase (53).

2.2.4. La formation

2.2.4.1. Différenciation et régulation des ostéoblastes

L'ostéoblaste a une origine commune avec les adipocytes et chondroblastes. Elles dérivent des cellules ostéoprogénitrices. L'expression de *cbfa/Runx* au niveau de ces cellules est indispensable pour la différenciation ostéoblastique. Au cours de sa différenciation l'ostéoblaste exprime des gènes ostéoblastiques précoces codant pour la phosphatase alcaline, le collagène de type I, l'ostéopontine, et le TGF- β mais aussi des gènes tardifs codant pour l'ostéocalcine ou encore la sialoprotéine osseuse (54).

L'ostéoblaste est essentiellement régulé par la voie de signalisation Wnt (*Wingless type*) qui favorise la différenciation, la prolifération et la durée de vie des ostéoblastes. Son co-récepteur est LRP5.

La voie Wnt est elle-même principalement régulée par la sclérostine, une molécule sécrétée par les ostéocytes. En l'absence de toute contrainte mécanique et de signaux liés à la PHT, elle se lie au récepteur LRP5 situé sur l'ostéoblaste, inhibe l'activité ostéoblastique, diminue l'activité de la phosphatase alcaline ainsi que la minéralisation.

=> La liaison de la sclérostine à son récepteur inhibe la voie Wnt qui est une voie d'activation ostéoblastique.

Plusieurs **interactions cellulaires** ont un rôle inductif ou permissif dans la différenciation ostéoblastique :

- Certaines molécules d'adhérence intercellulaire telle que la N-Cadhérine impliquée dans l'induction des gènes de différenciation dont Cbfa1/Runx2 dans l'ostéoblaste interagit avec le récepteur LRP5 de Wnt et régule négativement la signalisation de Wnt/ β -caténine (71). La β -caténine est l'un des composant clé de la voie Wnt. Suite à la suppression de la β -caténine des ostéoblastes sur des souris, on assiste à un arrêt de la différenciation ostéoblastique et une masse osseuse faible. L'OPG exprimée par les ostéoblastes peut contrôler ce phénomène en augmentant la masse osseuse chez les souris (72).
- L'activité fonctionnelle des ostéoblastes est aussi contrôlée par les jonctions *gap* intercellulaires formées par des connexines. Beaucoup d'études ont établi l'importance de la connexine 43 (Cx43) et 45 (Cx45) dans le remodelage osseux. Elles modulent l'expression de l'ostéocalcine et la sialoprotéine osseuse et sont donc nécessaires à la synthèse des protéines osseuses par l'ostéoblaste (73).

De plus, des **facteurs locaux** sont d'importants régulateurs pour l'ostéoblaste (74) et ont un rôle dans l'homéostasie osseuse :

- les TGF- β sont produits par les ostéoblaste et stockés dans la matrice. Ils régulent à la hausse l'expression de Wnt ainsi que son co-récepteur LRP5. Une signalisation dérégulée de TGF- β provoque des désordre osseux chez l'homme mais aussi sur la souris, *in vivo* la sur-expression du TGF- β chez la souris augmente la formation osseuse, *in vitro* il stimule fortement la prolifération pré-ostéoblastique et ont un effet anti-apoptotique sur les ostéoblastes. Il stimulent de plus la production de collagène de type I et inhibe l'activité de la collagénase qui dégrade la matrice (75) (76).
- les BMPs (*Bone morphonenic protein*) sont produites par les ostéoblastes et font partie des TGF- β . Elles agissent en augmentant l'expression de Cbfa/Runx2 présent sur les précurseurs ostéoblastiques favorisant ainsi leur différenciation tout en stimulant l'expression des gènes codant pour la phosphatase alcaline, le collagène de type I ou encore l'ostéocalcine (77). Toutes les BMPs ont un rôle important pour la formation osseuse (BMP-2 est la plus connue) sauf BMP-3 qui inhibe la différenciation cellulaire.
- Les FGFs régulent la prolifération, la fonction et l'apoptose de l'ostéoblaste.
- l'IGF I active la synthèse de collagène de type I *in vitro* et la formation osseuse *in vivo*.

Des facteurs systémiques contrôlent la régulation osseuse :

- La PHT stimule à la fois la résorption et la formation osseuse. Ses effets sont dépendants de la dose et de la voie d'administration. En effet, il a été démontré que l'administration par intermittence *in vivo* de cette hormone favorise la formation osseuse par un effet anabolique chez l'homme et l'animal. Alors que la PHT administrée de façon continue provoque des actions cataboliques avec une augmentation de l'activité des ostéoclastes et de leur durée de vie (78).
- Selon le stade de maturation des ostéoblastes, les glucocorticoïdes ont des effets différents. D'après une étude, ils stimulent la différenciation des précurseurs ostéoblastiques dans le stroma médullaire et l'expression de RANK-L.
- la vitamine D nécessaire à la minéralisation osseuse stimule l'expression de nombreux gènes de l'ostéoblaste comme l'ostéocalcine, la phosphatase alcaline ou encore le collagène de type I.

L'ostéoblaste mature est associé à la production de matrice osseuse (collagène, protéines matricielles..) et contribue à sa minéralisation par un apport suffisant de minéraux (calcium et phosphate).

2.2.4.2. Déroulement

Après la phase d'inversion, les cellules ostéoprogénitrices sont attirées dans les lacunes de résorption et forment une **ligne cimentante** au fond de celles-ci. Ces dernières vont ensuite se différencier en ostéoblaste. Les ostéoblastes recrutés combleront alors les lacunes de Howship en y apposant une nouvelle matrice organique qui sera minéralisée ensuite.

A sa surface, l'ostéoblaste secrète une grande quantité de fibres denses de collagène de type I et une plus petite quantité de protéines matricielles comme l'ostéocalcine et l'ostéopontine : la matrice osseuse est alors à ce moment là une matrice protéique, hydratée et non minéralisée appelée **ostéoïde**.

Au fur à mesure que la matrice mûrit et s'épaissit, **la minéralisation débute**. Des microcristaux d'hydroxyapatite s'incorporent à l'intérieur de la matrice. La phosphatase alcaline relarguée par l'ostéoblaste initie la minéralisation osseuse et élève la concentration de phosphate et calcium dans la matrice. L'ostéocalcine produite par l'ostéoblaste augmente la concentration calcique dans la matrice extra cellulaire et permet la fixation du calcium sur l'ostéoïde. Le phosphate de calcium commence sa maturation et forme des sites de nucléation de cristaux d'hydroxyapatite puis ces cristaux d'hydroxyapatite se lient au collagène de la matrice (79).

2.2.5. Phase de quiescence

Quand le remaniement osseux est terminé, les cellules osseuses entrent en apoptose jusqu'au prochain cycle. Certains ostéoblastes s'emmurent et deviennent des ostéocytes dans la matrice, d'autres s'aplatissent et deviennent des cellules bordantes. Durant cette phase, des signaux de terminaison du cycle apparaissent mais leur origine reste encore inconnue des données de la littérature.

La phase de quiescence correspond à la minéralisation secondaire de la matrice.

2.3. La résorption osseuse : l'alvéolyse

La résorption osseuse post-extraction concerne principalement l'os alvéolaire. L'os basal, lui ne change pas de forme significativement (80). On parle alors de résorption alvéolaire ou d'alvéolyse.

L'os alvéolaire « naît, vit et meurt » avec les dents. Le volume et la forme de l'os alvéolaire sont déterminés par la forme et l'inclinaison des dents mais aussi par les forces transmises par les contraintes occlusales provoquées sur les dents. La perte des dents conduit donc irrémédiablement à de nombreux changements de l'os alvéolaire support. La néoformation osseuse et le remodelage osseux sont accompagnés d'une alvéolyse osseuse marginale tridimensionnelle aussi bien verticale qu'horizontale qui varie en fonction du patient mais aussi en fonction du site extractionnel. Cette résorption alvéolaire est décrite par *Atwood* comme étant chronique, progressive, cumulative et certainement d'origine multifactorielle (81). La résorption est un phénomène très actif durant les 6 premiers mois post-extractionnel puis continue tout au cours de la vie à une vitesse plus lente (82–84).

2.3.1. Les origines de la résorption alvéolaire

2.3.1.1. Perte de la vascularisation

La préservation de la vascularisation est un facteur important permettant de maintenir la structure osseuse. Un retard de vascularisation empêche le maintien du volume osseux. Dès les premiers jours après une extraction, une ischémie intra alvéolaire apparaît. Celle-ci est principalement responsable de la fonte osseuse. La présence du caillot sanguin est alors indispensable pour induire une néo-vascularisation, mais celle-ci peut être contrainte par différents facteurs comme une infection ou encore une tension trop importante des tissus mous.

D'après la loi de Leriche et Policard, une hyper ou hypo-vascularisation entraîne une résorption osseuse alvéolaire (85).

2.3.1.2. Perte de la stimulation fonctionnelle

Une étroite relation existe entre les forces occlusales et les procès alvéolaires : d'une part, l'os alvéolaire est conçu afin de soutenir les dents pendant la fonction occlusale et d'autre part sa structure et son existence dépendent de la stimulation fonctionnelle qu'il reçoit. Suite à la perte de l'organe dentaire, l'os ne remplit plus cette fonction et commence à se résorber.

L'os alvéolaire subit donc un remodelage constant en fonction des forces qu'il reçoit. Si la force occlusale diminue, l'os se résorbe, sa hauteur et son épaisseur diminue. La loi de Bose décrit la relation entre le comportement osseux et l'intensité des pressions exercées : l'absence de pression ou une pression excessive entraîne une alvéolyse alors qu'une pression modérée permet de maintenir la structure osseuse. L'absence d'activité mécanique, due à la perte des dents, aboutit à la résorption des crêtes édentées. De plus, il apparaît que plus une zone dentée reçoit des forces et charges avant l'extraction, plus elle se résorbe lorsque les charges se réduisent ou disparaissent.

2.3.2. Les changements morphologiques et anatomiques

Il est indispensable pour le chirurgien dentiste d'aujourd'hui de connaître les changements morphologiques qui surviennent après l'extraction dentaire, d'autant plus si le traitement prothétique post-extractionnel est implantaire. En effet, la diminution du volume osseux disponible dans les zones édentées constitue une limite à la pose d'implants dentaires. La connaissance de ces changements morphologiques post-extractionnels nous permettra d'adapter notre technique d'avulsion en fonction des sites, tout en étant le plus conservateur possible pour les structures environnantes.

De nos jours, de nombreuses revues de la littérature ont décrit ces variations tridimensionnelles alvéolaires comme inéluctables.

2.3.2.1. Incidences au maxillaire et à la mandibulaire

L'alvéolyse maxillaire et mandibulaire sont significativement différentes. Ceci s'explique principalement par la différence de structure osseuse des maxillaires, mais aussi par la présence d'éléments anatomiques sur les bases osseuses limitant plus ou moins la résorption osseuse.

Au **maxillaire**, peu de muscles s'y insèrent. Cependant comme vu précédemment, le maxillaire présente, dans sa partie postérieure, des cavités aériennes : les sinus maxillaires. Les forces sont alors distribuées vers ces structures qui sont des zones sujettes à la résorption osseuse. Dans la partie antérieure, la présence de l'épine nasale limite la résorption dans le sens vertical (86).

Dans la région postérieure, la résorption se fait du haut vers le bas, c'est à dire du plancher du sinus vers le palais. Suite à l'extraction d'une ou plusieurs dents postérieures, le sinus situé au dessus des racines des prémolaires et molaires s'expand. Le volume du sinus augmente par pneumatisation au dépend de l'os alvéolaire et limite dans la plupart du

temps la possibilité de pose d'implant. Ce phénomène est d'autant plus marqué avec la proximité étroite des apex des dents avec le sinus (dent antrales et apex procident). Dans la région antérieure au niveau des incisives, la résorption se fait de l'avant vers l'arrière. Du fait de l'inclinaison des dents, elle est surtout importante au niveau de la paroi osseuse vestibulaire déplaçant ainsi la crête alvéolaire en palatin et réduisant la longueur de l'arcade (87). Ainsi la résorption au maxillaire est dite centripète.

Selon *Cawood et Howell*, la résorption du maxillaire antérieur et postérieur est à la fois verticale et horizontale (80).

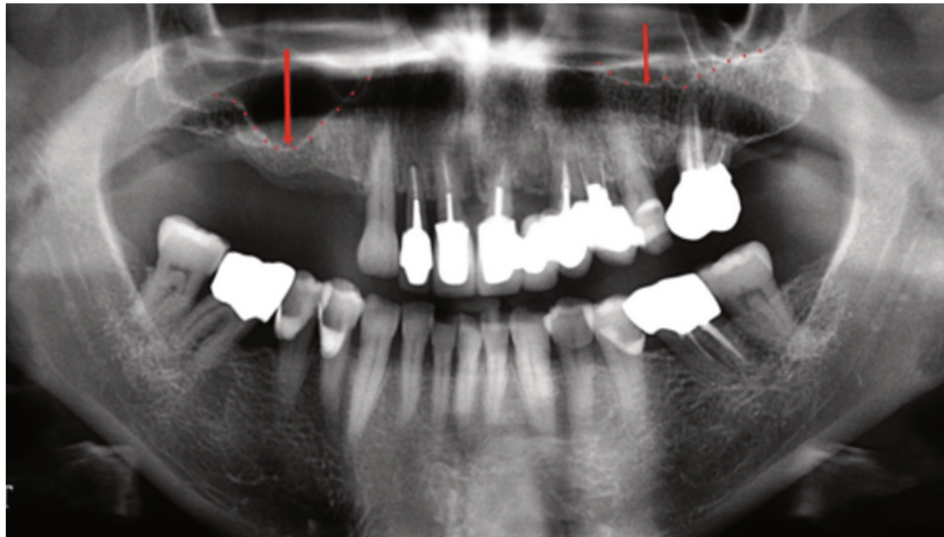


Illustration 23: Panoramique montrant la croissance du sinus maxillaire droit suite à l'avulsion de dents secteur 1 (97)

La **mandibule** est quant à elle le lieu d'insertion de nombreux muscles puissants masticateurs, mylohydien, génioglosse qui vont concourir à sa stimulation et présente le canal alvéolaire, où passe les éléments vasculo-nerveux, ainsi que le foramen mentonnier au niveau des prémolaires mandibulaires, des obstacles anatomiques qui vont limiter la résorption alvéolaire.

La résorption dans le sens antéro-postérieur est de haut en bas. Elle est dite centrifuge. Suite à l'avulsion d'une dent mandibulaire, la hauteur de l'os situé au-dessus du canal alvéolaire diminue fortement, limitant ainsi la possibilité d'y placer un implant. Ce rapprochement du canal alvéolaire à la surface de la crête alvéolaire peut entraîner des sensibilités et des douleurs compliquant alors la suite du traitement prothétique et implantaire. En situation pré-implantaire il est crucial d'évaluer correctement l'emplacement du canal mandibulaire (88). Cependant, cette alvéolyse en direction apicale est limitée par les attachements musculaires : l'insertion musculaire devient plus superficielle et diminue ainsi l'espace prothétique (89). Certainement en raison de la densité de la mandibule qui ne favorise pas la perfusion sanguine et donc l'apport des cellules ostéogènes sur le site, la résorption mandibulaire est jusque 4 fois plus importante que la résorption au maxillaire. (Le maxillaire lui contient plus de moelle osseuse et donc de cellules ostéoprogénétiques.)



Illustration 24: Panoramique montrant la résorption alvéolaire mandibulaire suite à l'avulsion des dents (97)

Selon l'hypothèse de *Tylman*, à la mandibule, la quantité d'os résorbée en lingual et en vestibulaire est approximativement la même alors qu'au maxillaire, la résorption de l'os vestibulaire est prédominante. Cependant ces hypothèses ne résultent pas d'une étude objective et quantitative, et seront controversées par *Pietrokovski* (87).

2.3.2.2. Résorption verticale

La résorption verticale est inévitable suite à l'extraction dentaire. Elle correspond à l'affaissement de la crête alvéolaire par rapport au collet des dent adjacentes.

Plusieurs auteurs se sont intéressés aux changements de la dimension verticale alvéolaire post-extractionnelle. Ils ont été décrits par des mesures céphalométriques, des études de moulages, des analyses radiologiques mais aussi par des mesures directes par technique chirurgicale.

Dans une étude d'un an, *Schropp* a évalué sur 46 patients les changements des contours des procès alvéolaires suite à l'avulsion d'une prémolaire ou molaire. Son étude est basée sur des moulages, ou analyses radiologiques. Il décrit dans ses résultats que la perte osseuse en mésiale et en distale reste quasiment inchangée au bout d'un an (- 0,1mm) (90). En 2013, *Chappuis* confirme ces résultats, dans son étude les sites proximaux relèvent une perte osseuse de 4,5 % contre 48 % pour la partie centrale de l'alvéole. La résorption verticale dans les sites proximaux est beaucoup moins marquée que dans le site central de l'alvéole (91), selon *Schropp*, une incurvation de l'os alvéolaire se forme dans le sens mésio-distal d'une hauteur de 1,2 mm.

D'après *Clozza*, à 3 mois, la perte verticale de la paroi alvéolaire vestibulaire est estimée à 2,7mm +/- 1,1 mm et la perte verticale de la paroi alvéolaire linguale ou palatine est moindre et estimée à 1,9 +/- 1,2 mm. Dans leur revue, *Tan et coll* observent à 6 mois, une réduction verticale générale de 11 à 22 % soit une variation de 1,24 mm. La résorption linguale/palatine est estimée entre 0,4 mm et 3 mm alors qu'elle est estimée entre 0,9 et 3,6 mm en vestibulaire entre 3 et 6 mois. La résorption verticale vestibulaire est plus

importante qu'en palatin ou lingual du fait de la faible épaisseur de la corticale vestibulaire. On retrouve des résultats similaires avec des études animales. Dans leur étude sur des chiens, *Arajau et Lindhe* observent que la réduction de l'os est plus marquée au niveau vestibulaire que lingual ou palatin. (82,92,93)

Van der weijden quant à lui réunit 12 publications et précise qu'en moyenne, la perte de la hauteur crestale est de 1,53 mm radiologiquement et de 1,67 à 2,03 mm cliniquement (94).

Une différence significative existe entre le maxillaire et la mandibule. Selon *Carlsson et Persoon*, la résorption verticale mandibulaire atteindrait 10 mm à 12 mois alors que la résorption verticale maxillaire est 4 fois moindre et atteint 2,5 à 3 mm à la même période.

D'une manière générale, la résorption verticale est plus importante dans la région antérieure que postérieure, vestibulaire que linguo/palatine, centrale de l'alvéole et mandibulaire par rapport au maxillaire. Presque toute la résorption osseuse verticale a lieu pendant les 3 premiers mois.

2.3.2.3. Résorption horizontale

La résorption horizontale correspond à l'amincissement de l'os alvéolaire accompagné la plupart du temps d'une dépression vestibulaire.

De nombreux auteurs de la littérature comme *Tan et coll*, *Lekovic et al*, *Lasella*, *Van der Weijden*, ou encore *Schropp*, s'accordent sur le fait que la résorption horizontale est plus importante que la résorption verticale. À 6 mois, la résorption horizontale est estimée à 3,8 mm approximativement alors qu'elle est de 1,24 mm verticalement (82,90,94–96). À 3 mois, la perte osseuse horizontale représente 30 % et à 6 mois elle peut aller jusqu'à 60 %.

Durant les 3 premiers mois, la cinétique de résorption est très importante, puis diminue à partir de 6 mois. Dans l'étude de *Schropp*, l'extraction de prémolaires et molaires provoque une réduction de la largeur de la crête de 50 % au cours de la première année. Cependant, 2/3 de cette perte osseuse survient dans les 3 premiers mois après l'extraction (90). Il observe de plus que la résorption est plus élevée dans la région molaire que prémolaire.

La résorption du pan vestibulaire domine par rapport au pan lingual ou palatin, elle est jusqu'à 2 fois plus importante pour certains auteurs. *Pietrokovski* constate dans son étude que la résorption horizontale coté vestibulaire à la mandibule peut aller de 2 mm (en région incisive) jusqu'à 4,69 mm (en région molaire) ; alors que côté lingual, la résorption oscille de 0,91 mm (en région incisive) à 2,9 mm (côté molaire) ; En moyenne, il calcule une différence de 1,8 mm (87). Ceci provoque une dépression vestibulaire (97).



Illustration 25: alvéolyse horizontale avec sa dépression vestibulaire observée au CBCT (97)

2.3.2.4. Modifications des tissus mous

Un mois après une extraction dentaire, les épithéliums ont fusionné et recouvrent l'alvéole. Peu d'études ont été réalisées sur les modifications des tissus mous. Celle de *Lasella* reste l'une des principales et compare la cicatrisation alvéolaire naturelle à une cicatrisation alvéolaire aidée d'une membrane. Lors de la cicatrisation alvéolaire naturelle, le tissu mou a tendance à augmenter en épaisseur autant sur le pan vestibulaire que linguo/palatin. Il augmente de 0,4 à 0,5 mm en 6 mois, à cette période là, la muqueuse recouvrant l'alvéole a une épaisseur de 2,1mm. En revanche, il y a eu une perte de tissu mou lors de la cicatrisation alvéolaire avec membrane, la vascularisation des tissus mous provient de l'os sous jacent, la membrane placée, celle-ci interfère avec la vascularisation des tissus mous. Dans la revue systématique de *Palioto*, la résorption alvéolaire est plus importante chez les patients ayant un biotype gingival fin (98).

2.3.3. Classifications des pertes de substances

L'évaluation de la forme de la crête osseuse avec la détermination de sa hauteur et largeur est fondamentale.

2.3.3.1. Classification de Seibert (1983)

La classification de Seibert évalue la direction de la perte osseuse. Cependant, son principal inconvénient est qu'il n'y a pas d'appréciation quantitative de la perte osseuse. Il classe les différents types de perte de substance en 3 classes (86,99) :

- Classe I : perte osseuse horizontale et hauteur normale de crête
- Classe II : perte osseuse verticale et largeur normale de crête
- Classe III : perte osseuse verticale et horizontale

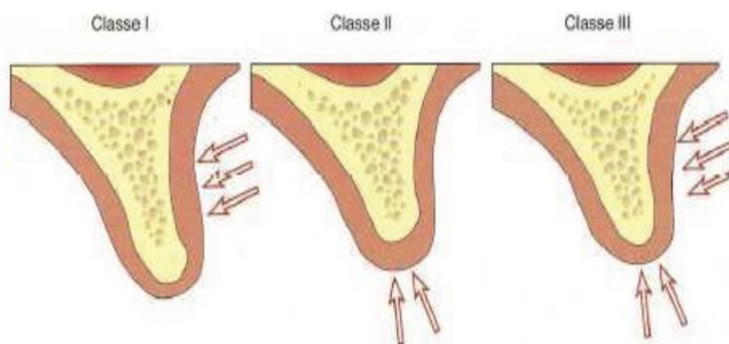


Illustration 26: Classification des défauts osseux selon Seibert

2.3.3.2. Classification de Cawood et Howell (1988)

La classification de Cawood et Howell est une référence dans la littérature et reste souvent utilisée encore aujourd'hui. Elle repose sur des principes observés par *Atwood* (81). Elle se base sur la quantité d'os résiduel et apprécie le relief de la crête osseuse.

C'est une classification physiopathologique des différents stades de résorption alvéolaire qui définit 6 classes (80,86) :

- Classe I : Elle représente la crête dentée pré-extractionnelle.
- Classe II : Elle représente la crête édentée post-extractionnelle.
- Classe III : La crête est arrondie, la hauteur et la largeur sont suffisantes.
- Classe IV : La crête est très mince, et prend un aspect en lame de couteau. La hauteur est suffisante mais la largeur insuffisante.
- Classe V : La crête est plate. La largeur et la hauteur sont insuffisantes.
- Classe VI : La crête est concave et négative. L'os basal est résorbé.

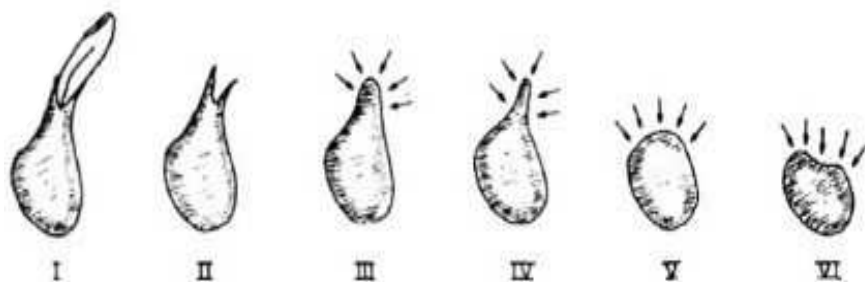


Illustration 27: Les 5 stades de résorption d'une incisive mandibulaire selon Atwood (81)

D'après *Cawood et Howell*, les changements de forme de l'os alvéolaire suivent un modèle prévisible, variable en fonction du site anatomique (80).

2.3.3.3. Autres

Allen et coll classent les pertes osseuses en 3 catégories sans tenir compte de la morphologie. Pour lui les pertes osseuses inférieures à 3 mm sont légères, celles situées entre 3 et 6 mm sont modérées et celles supérieures à 6 mm sont sévères (100).

La classification de *Leckolm et Zarb* (1988) elle évalue le degré de perte osseuse en 5 classes selon la quantité d'os résiduel : cependant il n'y a pas d'appréciation dans le sens vestibulo-lingual :

- A : crête alvéolaire normale
- B : résorption légère de l'os alvéolaire
- C : résorption importante de l'os alvéolaire
- D : résorption légère de l'os basal
- E : résorption importante de l'os basal

2.3.4. Les facteurs influençant la résorption alvéolaire

La résorption alvéolaire post-extractionnelle est inéluctable mais son importance varie entre chaque patient et d'un site à l'autre. Beaucoup d'auteurs se sont intéressés aux facteurs influençant la résorption alvéolaire compliquant ainsi le processus de cicatrisation. Par exemple, *Atwood* a défini ces facteurs comme étant nombreux et multifactoriels, il distingue des facteurs anatomiques, métaboliques, fonctionnelles, et prothétiques (101). Il existe ainsi une grande variabilité individuelle, chaque patient ayant une combinaison de facteurs qui lui est propre.

2.3.4.1. Facteurs locaux

- Facteurs anatomiques

Selon *Atwood*, les facteurs anatomiques peuvent influencer la résorption alvéolaire. Ils comprennent la **taille et la forme de la crête** mais aussi la **qualité et le type d'os**. D'après l'auteur, les crêtes osseuses hautes et larges ont un plus grand potentiel de perte osseuse que celles qui sont basses. Cependant, le taux de perte osseuse verticale peut être plus lent que celui d'une crête mince du fait qu'il y ait plus d'os à résorber par unité de temps (101). Concernant la densité, plus celle-ci est importante, plus la résorption sera lente, et inversement lorsque la densité osseuse est faible. La rapidité de la résorption alvéolaire varie donc proportionnellement à la densité de l'os.

En plus de la quantité et de la densité osseuse, la résorption dépend aussi de la **position** de la dent sur l'arcade, **du nombre et de la profondeur des alvéoles**, ainsi de la **présence de dents adjacentes**. La résorption est plus importante en antérieur, en vestibulaire et d'une manière générale, à la mandibule. À noter que l'os alvéolaire autour des dents en position terminale, ou qui ne présentent pas de dent adjacente, aura une plus grande tendance à la résorption. De plus, plus le nombre de dents extraites sera important plus l'étendue de la résorption sera grande.

Le biotype des tissus mous semble également jouer un rôle. Des études ont montré que la résorption alvéolaire post-extractionnelle était plus importante chez les patients présentant un biotype gingival fin, que ceux présentant un biotype gingival plus épais (98,102).

La présence d'un **défaut osseux** aura une influence considérable sur la résorption. La qualité de cicatrisation obtenue dépend de la taille du défaut osseux ainsi que du nombre de parois résiduelles. Plus le défaut sera grand, plus il y aura une perte de tissu osseux lors de la cicatrisation. Le nombre de parois résiduelles détermine le comportement des tissus mous : si le nombre de parois résiduelles est faible, les tissus mous s'effondreront dans le défaut tissulaire. Le type du défaut est lui aussi à prendre en considération : un défaut fermé cicatrisera mieux qu'un défaut ouvert (18).

- Les facteurs infectieux et inflammatoires.

Les phénomènes inflammatoires influent sur la résorption osseuse : parmi ceux-ci la présence initiale d'une **infection**, de **parodontopathies**, d'**inflammation** de la

muqueuse ou d'un **défaut d'hygiène dentaire** sont des éléments à prendre en compte qui peuvent accélérer la résorption osseuse.

- Les conditions de l'extraction

Les conditions de l'extraction influencent le processus de cicatrisation. La plupart des extractions dentaires sont effectuées sans égard par rapport au maintien et à la préservation de l'os alvéolaire, certaines sont mêmes mutilantes par rapport au support osseux. Même si la résorption osseuse post-extractionnelle est irrémédiable, il est nécessaire, de prendre des précautions et de concourir à des méthodes d'extractions dentaires les plus atraumatiques possibles pour éviter d'accentuer et provoquer une alvéolyse plus importante.

L'**alvéolectomie** augmente la résorption osseuse. Elle n'est pas recommandée dans la plupart des cas sauf si la situation clinique y montre une indication. Il faudra donc évaluer la balance « bénéfice/risque » avec rigueur et discernement. Elle ne doit pas être intempestive ou réalisée par facilité car le taux de résorption après une alvéolectomie peut atteindre le double de celui lors d'une extraction simple, et l'alvéolyse se poursuivra plus longtemps et de manière plus intense (103). Toutefois, le fraisage peut se faire au détriment de la dent plus qu'à celui de l'os alvéolaire.

La **réalisation d'un lambeau muco-périosté** au cours d'une extraction dentaire reste assez controversée. Pour certains auteurs, la réalisation d'un lambeau chirurgical doit être limitée car l'élévation du lambeau expose l'os, compromet la perfusion sanguine des tissus mous, diminue la vascularisation, et induit une résorption supplémentaire de la table osseuse. La préservation du périoste diminue la vitesse de résorption de l'alvéole (104). Cette dernière affirmation est en partie contredite par une étude récente qui compare la chirurgie avec et sans lambeau. Les résultats à 3 mois montrent que la chirurgie avec lambeau engendre une résorption alvéolaire horizontale plus importante mais une résorption alvéolaire verticale au niveau vestibulaire moins importante que la chirurgie sans lambeau. Cela dit, d'après une étude d'*Araùjo et al*, il existerait bien une résorption alvéolaire plus importante lors de la chirurgie avec lambeau, mais cette différence par rapport à la chirurgie sans lambeau serait remarquable lors des premiers mois de cicatrisation puis tendrait à disparaître au bout de 6 mois (105). De plus, les techniques de chirurgie sans lambeau (*flapless*) permettent de conserver les papilles interdentaires et ainsi ne compromettent pas l'esthétique futur.

2.3.4.2. Facteurs systémiques et métaboliques

Selon *Atwood*, il existe une multiplicité de facteurs métaboliques qui doivent être pris en considération : **métabolisme du calcium**, du **phosphore**, des **protéines**, **influence hormonale**... Tout **trouble du métabolisme général** est capable de modifier le processus cicatriciel (101)

Tout ceci est principalement fonction du **sexe** et de **l'âge**. En effet, plus le sujet est âgé plus la résorption sera grande et le capital osseux sera moindre, surtout chez la femme après la

ménopause. Le vieillissement provoque diverses conséquences et modifications. La stimulation mécanique osseuse diminue, la perfusion sanguine diminue : la qualité et la masse de l'os seront moindres et peuvent aboutir à l'ostéoporose. L'**ostéoporose** concerne surtout la femme. En vieillissant, son taux d'hormone d'oestrogène diminue fortement provoquant une augmentation de la résorption. L'activité ostéoclastique est alors augmentée, il y a donc une balance négative apposition/résorption et les os seront moins durs et plus fragiles avec une architecture interne modifiée.

Il est nécessaire d'avoir un équilibre entre l'activité ostéoblastique et l'activité ostéoclastique, une perte osseuse pathologique peut survenir si la résorption osseuse est augmentée ou si la formation osseuse est diminuée.

2.3.4.3. Facteurs environnementaux et pathologiques

- Habitude de vie

L'importance de la perte osseuse peut varier en fonction des habitudes de vie comme le **tabac** et l'**alcool**.

Le tabagisme, facteur d'importantes infections post-opératoires, peut entraîner une réduction dimensionnelle plus importante de la crête alvéolaire résiduelle et peut de plus retarder la cicatrisation post-opératoire. De nombreuses études ont été réalisées sur l'influence du tabac sur la résorption osseuse post-extractionnelle. Les différents auteurs s'accordent : le tabac affecte le remodelage post-extractionnel et a un effet néfaste. Dans son étude, *Saldanha* compare le remodelage osseux post-extractionnel chez des fumeurs et non fumeurs. Il constate qu'au bout de 6 mois, la réduction de la hauteur alvéolaire et de la densité osseuse alvéolaire sont remarquablement plus prononcées chez les fumeurs que non fumeurs (106) : le tabac est un vasoconstricteur, le monoxyde de carbone produit lors de la combustion peut réduire le flux sanguin. Selon *Hollinger*, la nicotine aurait un effet négatif sur la guérison osseuse en diminuant la fonction ostéoblastique et en augmentant le risque d'ischémie tissulaire (107). De même, la consommation d'alcool entraîne un effet direct sur la perte osseuse alvéolaire en l'augmentant (108).

- Pharmaceutique

Les **biphosphonates** sont administrés en cas d'ostéoporose post-ménopausique, métastases osseuses, myélomes... Ils inhibent la résorption osseuse par blocage de l'activité ostéoclastique. Leur rôle est de stabiliser la perte osseuse. Cependant, l'extraction dentaire chez un patient sous biphosphonates peut provoquer à une faible incidence une ostéonécrose des mâchoires qui aboutit à une perte osseuse et ainsi perturbe la cicatrisation alvéolaire (109). Une étude récente a évalué les effets de l'alendronate sur la cicatrisation osseuse après extraction dentaire chez le rat. L'alendronate diminue transitoirement la formation osseuse et la vascularisation dans la cavité d'extraction et retarde l'élimination de l'os alvéolaire interdentaire après l'extraction (110).

- Facteurs fonctionnels

Une force telle que le cisaillement, la traction ou encore la compression aura des conséquences sur le remodelage osseux. Selon *Atwood*, les facteurs fonctionnels représentent la **fréquence**, la **direction** et la **quantité de force**. Celles-ci seront transmises à l'activité biologique de la cellule. La nature de l'os alvéolaire est directement corrélée aux forces qui lui ont été appliquées tout au long de sa vie par le biais de la dent qui a été extraite. Ceci aura des conséquences sur son architecture ainsi que sur sa cicatrisation (101).

- Facteurs prothétiques

Selon *Atwood*, les facteurs prothétiques sont à prendre en considération et peuvent influencer la perte osseuse post-extractionnelle. Ils comprennent le **type de prothèse**, la **distance inter-occlusale**, mais aussi le **port de la prothèse** (101). En effet l'absence de réhabilitation prothétique peut entraîner une résorption osseuse plus importante du fait de l'absence de stimulation.

Parmi tous les facteurs de la résorption osseuse post-extractionnelle, le chirurgien dentiste joue un rôle principal dans les conditions de l'extraction. Une extraction atraumatique est du ressort du chirurgien dentiste.

3. L'avulsion atraumatique

De nos jours, les références à l'avulsion dentaire atraumatique imprègnent la littérature dentaire. Ceci est dû en grande partie à la demande croissante pour la préservation osseuse car les implants ostéo-intégrés deviennent de plus en plus un pilier de réhabilitation prothétique dentaire. L'extraction dentaire doit être la plus atraumatique possible afin de conserver une intégrité maximale tant au niveau des tables osseuses que des tissus mous pour favoriser l'intégration biologique et esthétique de l'implant.

Dans cette troisième partie, nous expliquerons pourquoi il est nécessaire de réaliser des avulsions atraumatiques aussi bien en règle générale mais surtout dans un contexte implantaire. Enfin, nous détaillerons les différentes techniques d'avulsions atraumatiques ainsi que leurs avantages et inconvénients, puis nous les superposerons ensemble pour déterminer la meilleure technique opératoire en fonction de la situation clinique.

3.1. Pourquoi ?

3.1.1. Préserver les structures anatomiques

D'un côté, l'extraction dentaire est un des actes les plus courants au cabinet dentaire. La technique d'extraction traditionnelle consiste en l'utilisation d'un syndesmotome, d'un élévateur et enfin d'un davier. Cette dernière est discutée car elle engendrerait des forces excessives sur l'os alvéolaire et les tissus mous avoisinants pouvant amener à des fêlures voir à des fractures des corticales.

D'un autre côté, l'implant dentaire quelque soit sa mise en place, immédiate ou différée, est l'un des traitements de réhabilitation prothétique de choix à condition d'une quantité et qualité d'os correcte. Cependant, la gestion et la conservation du volume osseux après l'extraction restent compliquées en raison de la résorption alvéolaire qui débute immédiatement après le geste thérapeutique. C'est pourquoi, il semble primordial de réaliser une extraction la moins traumatisante possible pour le support alvéolaire. Ainsi, une attitude préventive lors de l'extraction dentaire doit être adoptée par le chirurgien dentiste afin d'anticiper les remaniements osseux délétères, pour **préserver au mieux les structures anatomiques**, comme le parodonte, l'os alvéolaire et ainsi le volume osseux post-extractionnel, nécessaires à la pose d'implant (111).

3.1.2. Limiter les pertes de chances implantaires

L'avulsion atraumatique **limite les suites opératoires et ainsi les pertes de chances implantaires** notamment en préservant le tissu alvéolaire. Elle est idéale pour une implantation immédiate post-avulsionnelle : la préservation des tables osseuses alvéolaires est un élément indispensable, mais pas toujours facile à obtenir, qui permet de diminuer la nécessité de les reconstruire. Beaucoup d'auteurs montrent un intérêt commun au recours des techniques d'avulsion dentaires atraumatiques surtout en situation pré-implantaire. Une avulsion atraumatique (avec un minimum d'atteinte des tissus mous et durs) suivie d'une implantation immédiate aboutissent à la préservation des tissus mous et durs au niveau du site d'extraction. Au bout d'un an, aucune complication clinique ou radiologique n'a été constatée et le taux de réussite est estimé entre 94 % et 100 % (112,113).

3.1.3. Réduire le temps de cicatrisation et les complications possible post-opératoires

Le protocole d'extraction dentaire atraumatique comprend non seulement la technique minutieuse d'extraction mais aussi des conseils post-opératoires à respecter. Des éponges hémostatiques peuvent être insérées dans l'alvéole afin de stabiliser rapidement le caillot sanguin et ainsi réduire le risque de saignements post-opératoires. Le curetage rigoureux ainsi que le suivi des conseils post-opératoires diminueront les phénomènes infectieux et inflammatoires, et limiteront les alvéolites (ne pas fumer pendant 48h, ne pas cracher, commencer des bains de bouches 48 h après l'extraction par exemple).

L'extraction dentaire est un acte chirurgical qui se doit être le plus complet possible et le moins traumatisant. En situation pré-implantaire, après une évaluation précise de la situation clinique, de l'anesthésie aux conseils post-opératoires, le chirurgien dentiste se doit d'être minutieux et d'utiliser des techniques d'avulsions les plus atraumatiques possibles dans son protocole d'extraction.

3.2. Les différents instruments et techniques

Les techniques d'extraction ont beaucoup évolué au cours de la dernière décennie. Une variété de nouveaux instruments et techniques révolutionnent le domaine de la chirurgie buccale et de la dentisterie dont l'objectif est de réaliser des extractions dentaires les moins traumatiques possibles.

3.2.1. Recours à la séparation de racine

3.2.1.1. Généralité

La séparation de racine concerne les dents pluriradiculées à savoir les molaires maxillaires et mandibulaires et les premières prémolaires maxillaires. À l'aide d'un instrument rotatif et de la fraise Zekrya, le trait de section s'effectue au niveau coronaire jusqu'au septum inter-radiculaire. Puis un mouvement de rotation dans le trait de section à l'aide d'un syndesmotome terminera le trait de séparation. Après avoir vérifié la mobilité des racines, on extrait les racines une par une.

Il est donc primordial de connaître l'anatomie des dents concernées car le trait de séparation est fonction du nombre de racines (114) :

- **La première prémolaire maxillaire** a généralement 2 racines : une racine vestibulaire et une racine palatine. Si la séparation de racines est nécessaire, le trait coronaire de séparation sera donc de mésial à distal.
- **Les molaires maxillaires** comportent généralement 3 racines : Deux racines vestibulaires, une mésio-vestibulaire et une disto-vestibulaire et une racine plus large palatine. Le trait de séparation de racine aura donc la forme d'un T.

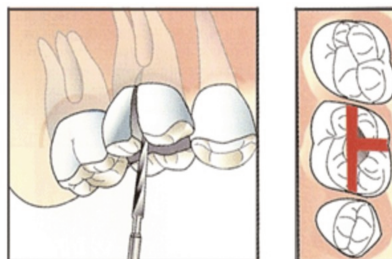


Illustration 28 trait de séparation de racines d'une molaire maxillaire (114)

- **Les molaires mandibulaires** comportent dans la plupart des cas deux racines : une mésiale et une distale. Le trait de séparation sera donc dans le sens vestibulo-lingual au milieu de la dent.

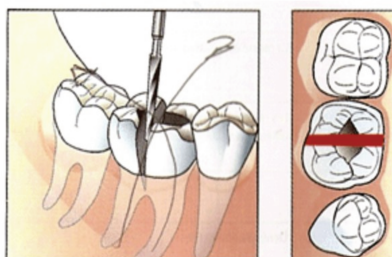


Illustration 29 trait de séparation de racines d'une molaire mandibulaire (114) 57.

3.2.1.2. Indications

On l'utilise pour les dents pluriradiculées, lorsque les racines sont divergentes, incurvées, ramifiées ou rétentives. Certains auteurs la préconisent même si une extraction simple semble envisageable. De plus, lorsqu'une dent pluriradiculée semble très cariée en profondeur, ou quasiment à l'état de racine, la séparation de racine est indiquée.

3.2.1.3. Avantages

La séparation de racine **facilite l'acte opératoire**. En effet, une fois les racines séparées, l'extraction complexe se transforme en plusieurs extractions simples.

Séparer la dent en plusieurs morceaux **évite les fractures radiculaires** ou les anticipe.

De plus, le but est de **ne pas abîmer l'os alvéolaire**. Selon certains auteurs, si les racines dentaires ne sont pas fusionnées, elles doivent être systématiquement séparées. La luxation isolée d'une racine entraîne moins de tension et de risques de microfractures osseuses, des corticales externes et de l'os inter-radiculaire que l'on tient à conserver pour initier la future régénération osseuse alvéolaire et ainsi ne pas augmenter la résorption alvéolaire post-extractionnelle (115).

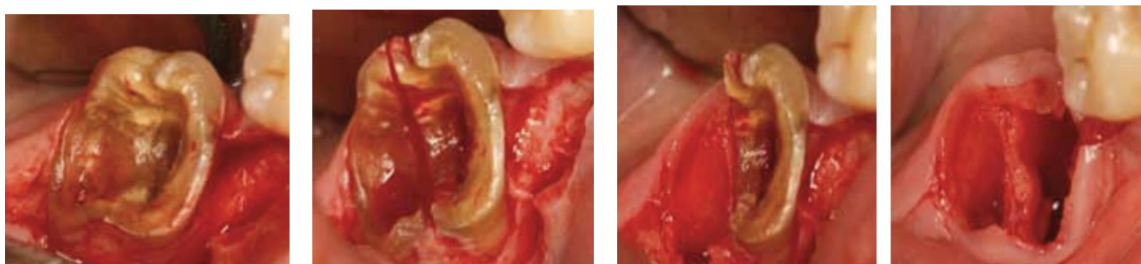


Illustration 30: Séparation de racines d'une molaire mandibulaire (111)

3.2.1.4. Inconvénient

Lors de la séparation de racine, il faut veiller à ne pas atteindre l'os inter-radiculaire ou encore l'os vestibulaire, palatin/lingual, mésial ou distal.

3.2.2. Utilisation du périotome

3.2.2.1. Généralité

Le périotome est un instrument utilisé en début de chirurgie qui permet une intervention chirurgicale minimalement invasive. Il est constitué d'une lame fine, allongée et plate qui s'insère entre la dent et l'os environnant, le long du ligament parodontal (47).

Il est d'abord inséré dans le sulcus afin de réaliser la syndesmotomie avec un angle de 20 degrés par rapport à la surface de la dent puis il glisse tangentiellement le long de la dent et progresse jusqu'au 2/3 apical.



Illustration 31: périotome

Il travaille circonférentiellement autour de la dent, de mésial à distal, avec une légère pression apicale afin de sectionner les fibres du ligament desmodontal. Une fois le ligament sectionné, un mouvement de rotation de la lame permettra de « dilater » l'os crestal autour de la dent afin d'élargir l'espace péri-dentaire et ainsi faciliter l'insertion d'autres instruments. La destruction progressive du desmodonte qui en résulte libère la dent de son alvéole. Ainsi la dent peut être extraite de l'alvéole à l'aide d'un davier, sans besoin d'exercer des forces latérales, avec un mouvement de rotation pour la plupart des cas. L'avulsion sans aucun traumatisme osseux est ainsi facilitée (116).

Le périotome peut être manuel ou automatisé (*Powerotome®*, *Exosafe®*) sur pièce rotative. Différentes lames, droites ou coudées peuvent s'y insérer.



Illustration 32: périotome automatisé Exosafe® (117)

La dynamique d'action du périotome automatisé est produite par un mouvement de pression cyclique, régulé par la vitesse de l'unité. Il suffit de le positionner et de l'orienter le long des fibres ligamentaires (118).

3.2.2.2. Indications

Le périotome s'utilise aussi bien pour les dents postérieures et antérieures, mandibulaires et maxillaires. Des lames coudées existent pour les dents mandibulaires et des lames droites existent pour les dents maxillaires.

Il est très utilisé pour les racines cariées sans prises, les éventuelles ankyloses, ou encore dans le cadre d'extractions dentaires pré-implantaires où la conservation des parois osseuses résiduelles est impérative. En effet, le périotome est utilisé pour préserver l'intégrité osseuse.

3.2.2.3. Avantages

L'utilisation du périotome a de nombreux avantages :

- il permet une **extraction dentaire atraumatique**. En effet, il préserve les tissus mous (papilles interdentaires...) et les tissus durs car il n'exerce pas de force de

latéralité. Cela réduit le risque de résorption post-extractionnelle. La possibilité de futurs implants notamment avec mise en charge immédiate est ainsi maintenue (119,120).

- De plus, il permet d'éviter la levée d'un lambeau mucopériosté et donc les dommages de l'os adjacent.
- il coupe le ligament parodontal grâce à sa lame très fine et élargi ainsi l'espace desmodontal sans traumatisme.
- Il mobilise la dent plus facilement puisqu'il permet de trouver aisément un point d'appui radiculaire pour l'élévation puis l'extraction.
- De plus, les résultats d'une étude, suggèrent que l'utilisation du périotome réduit l'inconfort et la douleur post-extraction (121).

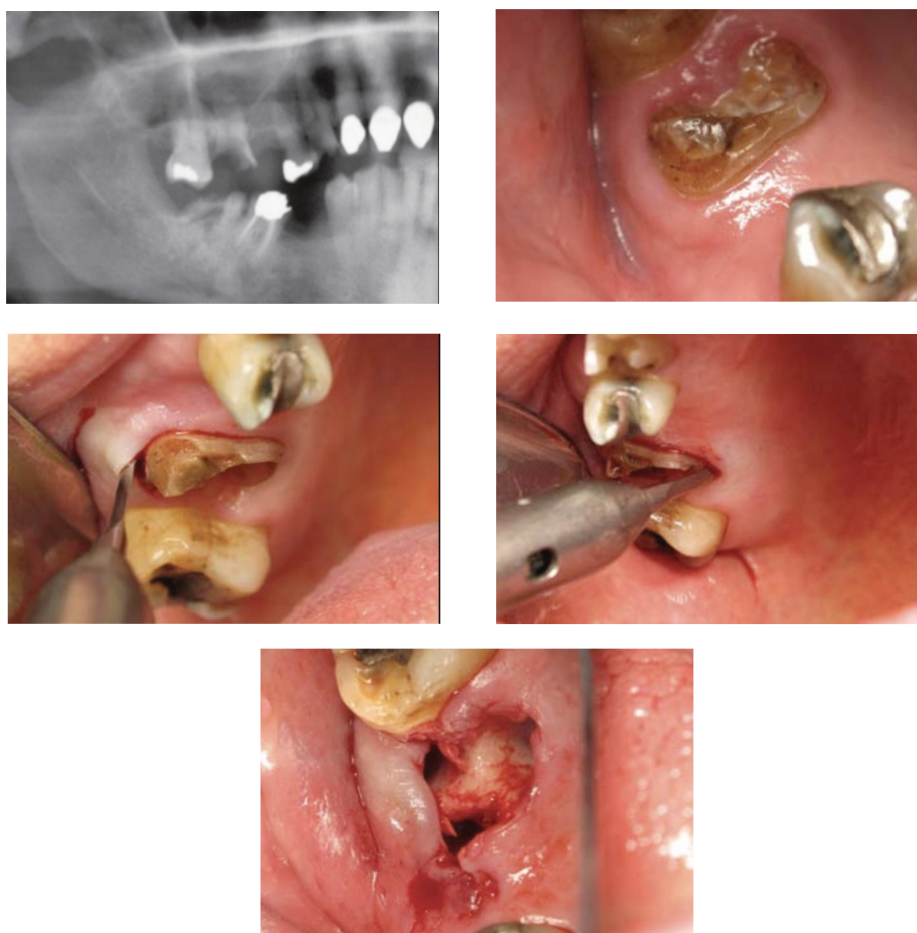


Illustration 33: cas clinique: avulsion des racines de 16 à l'aide d'un périotome Powertome®. En post- opératoire, on remarque la conservation des papilles et du tissu osseux (114)

3.2.2.4. Inconvénients

Certains auteurs le considèrent comme peu efficace.

3.2.3. Utilisation du Physic Forcep

3.2.3.1. Généralité



Illustration 34: une pince Physic Forcep (124)

Le système des Physics Forceps a été développé en 2004. Il s'agit d'une pince avec deux becs dont un des becs présente un embout de protection.

On utilise cette pince après syndesmotomie, réalisée à l'aide d'un périotome par exemple. L'embout de protection se plaque sur la jonction muco-gingivale en vestibulaire. L'autre bec s'insère dans le sulcus coté palatin ou lingual (122). L'application d'une force de rotation vestibulaire lente utilisant seulement le mouvement du poignet pendant 30 secondes, favorise l'élévation occlusale de la dent dans son alvéole (123). Une fois la dent subluxée, elle peut être retirée facilement à l'aide d'une pince ou d'un davier traditionnel.

Cette pince joue donc le rôle de l'élévateur. Cependant, à la différence de l'élévateur, les Physics Forceps ne traumatisent pas les dents adjacentes ni l'os alvéolaire. Elle permet, grâce à un mécanisme de levier, la luxation de la dent en protégeant l'os alvéolaire grâce à l'embout de protection qui va s'appuyer sur la corticale (124).

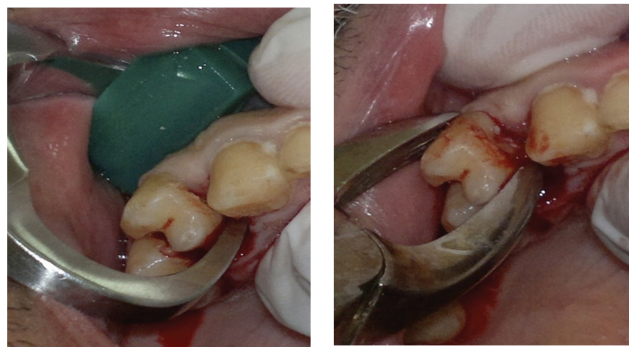


Illustration 35: Avulsion d'une 14 à l'aide d'une pince à la physique puis d'un davier (125)

3.2.3.2. Indications

L'extraction d'une dent au Physic Forcep est possible lorsqu'il reste un minimum de la couronne dentaire.

3.2.3.3. Avantages

La conception biomécanique des Physics Forceps **diminue l'incidence des fractures radiculaires**, et **maintient la plaque osseuse vestibulaire**, essentielle à la bonne cicatrisation d'un implant dentaire avec mise en charge immédiate par exemple. L'embout de protection fonctionne comme point d'appui pendant l'extraction, la force exercée sur l'embout de protection est une force de compression, de sorte que la dent et l'alvéole ne se fracturent pas (125,126). Ainsi, elle permet des conditions idéales pour une implantation immédiate.

Le Physic Forcep **facilite l'extraction dentaire atraumatique** sans l'utilisation d'une force excessive et permet ainsi de **contrôler la force nécessaire** pour l'extraction dentaire. (122,127).

D'après *Weiss et al.* (124), il n'est **pas nécessaire de réaliser un lambeau mucopériosté** ou d'utiliser un élévateur avant une tentative d'extraction dentaire à la pince Physic Forcep. D'autres revues de la littérature plus récentes confirment cette donnée. D'après leurs auteurs, les pinces Physics Forceps sont des instruments innovants permettant des extractions difficiles sans l'élévation de lambeau (125).

3.2.3.4. Inconvénients

L'utilisation de la pince Physic Forcep nécessite une courbe d'apprentissage. Il faut contrôler la force exercée, celle-ci ne doit pas être excessive. Cependant, une fois que le chirurgien dentiste est familier avec le mouvement du poignet, l'intensité et la direction de l'application de la force, l'extraction est simple et rapide à réaliser (122). De plus, il faut être attentif à la luxation de la dent, il peut y avoir un risque de fracture de la corticale si le chirurgien dentiste continue d'exercer une force avec alors que la dent est déjà luxée.

3.2.4. L'extraction verticale

3.2.4.1. Généralité

L'extraction verticale a fait son apparition très récemment. Benex Extractor®, Easy X Tract® et le système Sapien® sont de nouveaux instruments qui s'utilisent sous le principe de l'extraction verticale (128).

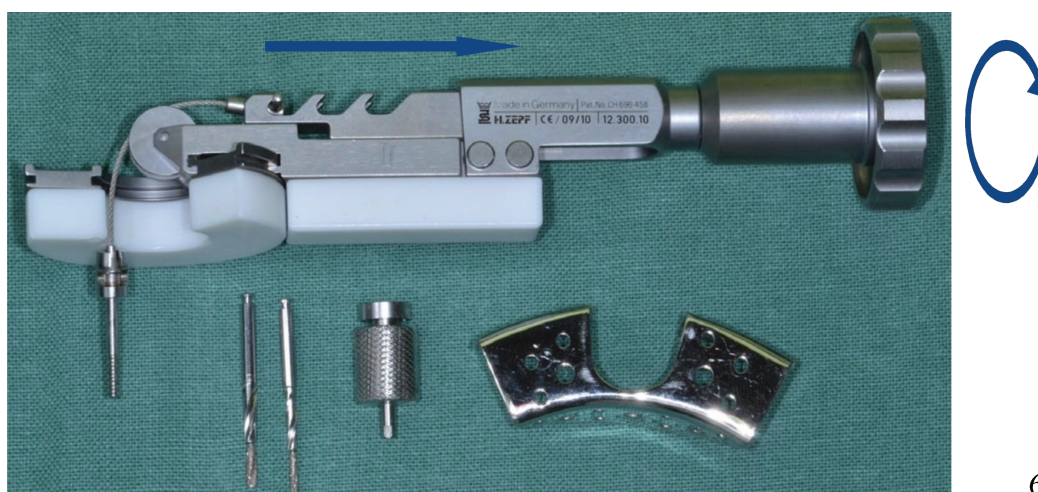


Illustration 36: Benex extractor ® (132)

L'extraction verticale s'effectue après syndesmotomie réalisée et suppose la traction de la dent par des forces appliquées dans son grand axe longitudinal. Cela entraîne une perturbation des fibres du ligament parodontal sans nécessiter des mouvements de dislocation. Les forces de tractions verticales minimisent les forces latérales et conduisent à un mouvement axial en cisillant les fibres du ligament desmodontal.

Le système consiste en une vis d'ancrage, insérée dans la dentine radiculaire, et reliée à une « corde » d'extraction, qui est serrée axialement par le dispositif d'extracteur pour délivrer des forces extrusives. La corde d'extraction est serrée, de manière incrémentielle, appliquant ainsi une force de traction extrusive sur une période de quelques minutes destinée à extraire la dent. Au préalable, des forets diamantés sont utilisés pour créer un trou pilote dans la racine afin de minimiser les forces de calages excessives lors de l'insertion de la vis d'ancrage et ainsi réduire les fractures radiculaire ultérieures. (129,130).

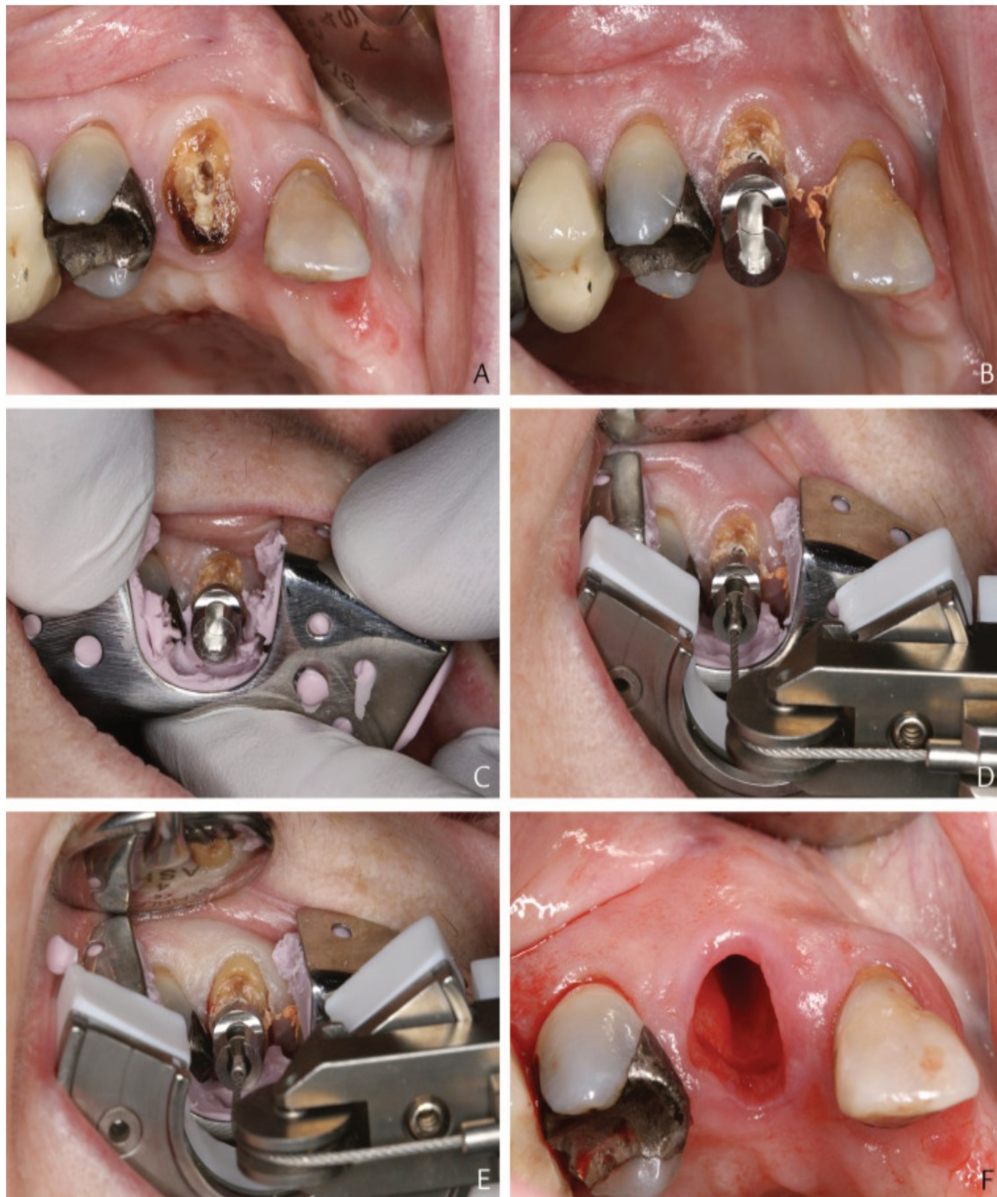


Illustration 37: Utilisation du Benex extractor® lors d'une avulsion atraumatique d'une canine maxillaire droite (129)

Voici les différentes étapes :

- Étape 1 : Préparation et forage du canal à l'aide d'un trépan permettant de déterminer facilement l'axe de la dent et d'éliminer tout matériau de remplissage du canal.
- Étape 2 : Forage avec un foret hélicoïdal diamanté, dans le centre et dans l'axe de la racine. Le forage doit être d'environ 7 mm dans la racine. Il sera réalisé avec de l'eau et des mouvements verticaux, de l'intérieur vers l'extérieur, sont requis pour enlever les copeaux.
- Étape 3 : Insertion de la vis d'ancrage dans la racine
- Étape 4 : Positionnement de l'extracteur sur les couronnes des dents adjacentes. Il faut accrocher la corde d'extraction sur la vis d'ancrage puis la passer sur la poulie. L'instrument est placé de telle sorte que la vis et la corde soient dans la même direction axiale.
- Étape 5 : Extraction. La corde d'extraction est serrée progressivement, appliquant ainsi une force de traction extrusive sur une période de quelques minutes. Après 1 à 3 minutes de tension constante, les fibres parodontales se déchirent et la racine se détache de l'alvéole.

3.2.4.2. Indications

Ces systèmes d'extraction verticale sont parfaitement adaptés à l'extraction de racines ou fragments de racines de dents monoradiculées dans le secteur antérieur. Une revue de la littérature de 2013 a évalué l'efficacité et les limites du système Benex extractor® sur 111 dents. Le taux de succès de l'extraction dentaire était beaucoup plus important pour les dents monoradiculées (89 %) que pour les dents pluriradiculées (43 %) (131).

Ils sont surtout utilisés lors d'une implantation immédiate, lorsque les racines semblent être difficiles à extraire ou encore lorsqu'une extraction classique à l'aide d'un davier n'est plus possible.

Cependant, des contre-indications existent, elles comprennent une longueur insuffisante des racines ou encore des racines étroites présentant un risque plus élevé de fracture lors de l'insertion du taraud. L'avulsion des dents postérieures avec ces systèmes n'est pas recommandée (129). De plus s'il y a une reconstitution corono-radicaire (inlay core, composite à tenon), l'extraction verticale n'est pas possible.

3.2.4.3. Avantages

Un tel système a de nombreux avantages. L'extraction dentaire verticale peut être considérée comme une **technique d'avulsion atraumatique** minimisant la quantité de traumatisme du **parodonte** environnant mais aussi du **tissu osseux** (131). Elle procure un meilleur esthétisme post-opératoire des tissus mous. Elle réduit la résorption osseuse post-

extraction et préserve les dimensions osseuses alvéolaires résiduelles. Elle permet de maintenir de façon prévisible la stabilité et l'intégrité de l'alvéole après extraction.

Le système d'extraction verticale s'utilise surtout **lors d'implantation immédiate**. *Ren et al*, ont réalisé une étude sur 25 implants placés immédiatement suite à l'extraction de la dent avec le système Benex, sans réaliser de lambeau. Ils ont évalué l'esthétique des tissus mous grâce au Pink Esthetic Score (PES) ainsi que la résorption osseuse marginale péri-implantaire pendant un an. Au bout d'un an, ils obtiennent un PES de $8,8 \pm 1,19$. Tous les patients étaient satisfaits des résultats esthétiques finaux. Concernant la résorption osseuse marginale péri-implantaire, celle-ci était de $0,21 \pm 0,23$ mm au bout d'un an. Le **résultat esthétique est plus important** et la **résorption marginale pré-implantaire est moindre** (132).

Selon les données de la littérature, l'extraction verticale **dispense de la réalisation d'un lambeau**. Dans leur étude, *Ren et al* n'ont pas réalisé de lambeau et les résultats ont été très satisfaisants (132).

3.2.4.4. Inconvénients

L'utilisation des systèmes d'extraction verticale sont des systèmes relativement chers qui nécessitent un apprentissage. Plusieurs étapes (vues précédemment) sont nécessaires et nécessitent une **courbe d'apprentissage**. Ce système peut alors augmenter la durée de l'extraction, surtout en début d'apprentissage.

De plus, ces systèmes peuvent provoquer des **fractures radiculaires** si la vis d'ancrage n'est pas correctement positionnée. Il peut y avoir des échecs d'extractions essentiellement provoqués par une insuffisance de rétention de la vis d'ancrage dans la racine : cela peut être à cause d'un mauvais positionnement de la vis dans la racine ou d'une fracture radiculaire (131).

3.2.5. Recours à la piezochirurgie/ piézotome

3.2.5.1. Généralité

La chirurgie piézoélectrique également appelée chirurgie ultrasonore est une technique innovante d'approche de la chirurgie des tissus durs. Elle dérive des connaissances décrites par les Frères Jacques et Pierre Curie à la fin du XIX siècle. En 1975, *Horton et al* (133) se sont davantage posés sur l'idée de pouvoir couper du tissu dur grâce aux ultrasons. Cette idée fut récemment perfectionnée et adaptée par *Vercellotti* dans les années 2000 (134). Les domaines d'applications de la piezochirurgie en chirurgie orale sont multiples : lissage des surfaces radiculaires, greffes osseuses, préparation d'un site implantaire, procédure de soulèvement de sinus, chirurgie endodontique apicale, chirurgie orthodontique, ostéotomie dans des régions anatomiques vulnérables (à proximité du nerf alvéolaire inférieur, des sinus maxillaires), extraction atraumatique...

La chirurgie piézoélectrique est caractérisée par des micro-vibrations ultrasoniques piézoélectriques de basses fréquences allant de 25 à 50 Hz. En raison de leurs

caractéristiques, ces micro-vibrations permettent une coupe sélective des structures osseuses sans endommager les tissus mous, qui restent intacts même lors de contacts accidentels (134).

Plusieurs inserts, la plupart du temps recouverts de titane, existent en fonction de l'acte opératoire à réaliser. Ils ont des formes différentes avec une vibration linéaire allant de 60 à 200 microns (135).



Illustration 38: Différents types d'inserts utilisée pour la syndesmotomie (141)

3.2.5.2. Indications

Dans le cas d'extractions atraumatiques en vue d'un traitement implantaire, la piézochirurgie est particulièrement bien adaptée :

- Lors de la **syndesmotomie de dents ou racines très cariées** qui ne peuvent être extraites sans se fracturer en plusieurs petits morceaux. L'instrument coupe les fibres du ligament desmodontal jusqu'à 10 mm ou plus : la pointe est insérée dans le sillon gingival entre la racine et l'os et progresse apicalement, par des mouvements progressifs de tamponnement. C'est en se dispersant dans le ligament parodontal, que les vibrations ultrasonores permettent un clivage peu traumatique et une syndesmotomie aisée (135).
- Pour l'extraction de **dents et racines ankylosées** où elle va permettre une intervention moins délabrante : ces syndesmotomes vibrants permettent, grâce à la forme et la finesse de leur insert, de détacher la racine dentaire de l'os environnant en un seul morceau sans nécessiter de chirurgie invasive, en créant des tranchées fines et peu délabrantes dans les zones de contact os-racine. Les vibrations ultrasonores favorisent la rupture des interfaces solides (136,137) .
- Lors d'un **morcellement de la dent** en réalisant un trait de fracture dans le sens mésio-distal ou vestibulo-lingual/palatin. La dent séparée en deux, l'avulsion sera plus facile (138).

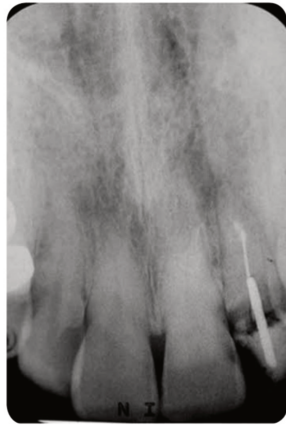


Illustration 39: Rétro alvéolaire montrant une fracture de l'incisive latérale supérieur gauche 22.

Photos intrabuccales montrant la section mésio-distale de la racine de 22 et la syndesmotomie réalisées à l'aide d'un insert piézoélectrique. (143)



- Il en sera de même pour les cas où l'**implantation immédiate** est envisagée. En effet, les tissus avoisinants sont préservés ainsi qu'un maximum d'os alvéolaire. Ils sont d'autant plus utilisés lorsque la paroi osseuse vestibulaire est fine.

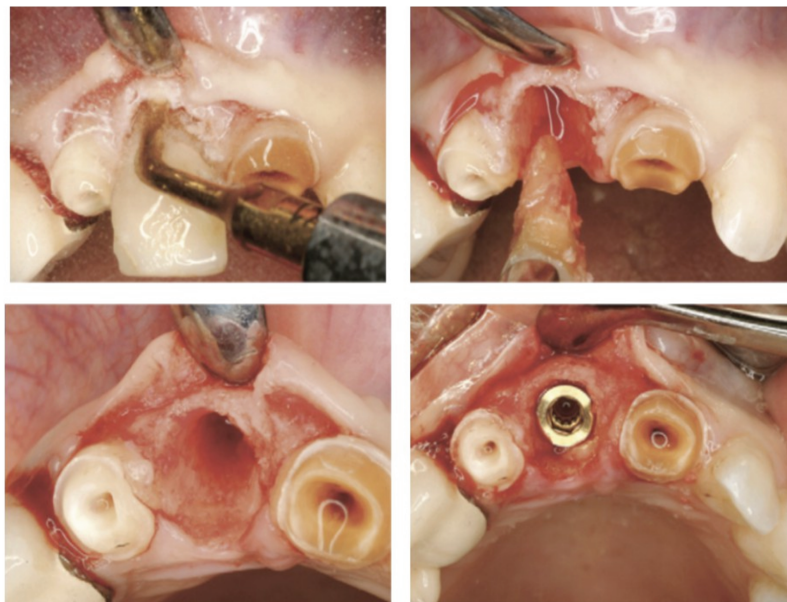


Illustration 40: Avulsion d'une incisive centrale maxillaire grâce à la piézochirurgie puis implantation immédiate (143)

Cependant, une contre indication existe : lorsque le patient porte un pacemaker, l'utilisation des ultrasons est contre-indiquée (138).

3.2.5.3. Avantages

De nombreux auteurs comme *Kafel et al. (139)*, *Pavlikova et al. (140)*, *Thomas et al. (135)*, se sont penchés sur l'utilisation des instruments piézoélectriques en chirurgie orale, ainsi que leur efficacité et leurs nombreux avantages.

La technique est beaucoup **moins traumatisante et invasive pour les tissus mous et osseux**. Elle permet de réaliser une coupe osseuse micrométrique, qui permet une action précise et sûre qui limite les dommages tissulaires, et une coupe sélective affectant le tissu osseux minéralisé mais pas les tissus mous environnants car les tissus mous et les tissus durs sont coupés à des fréquences ultrasoniques différentes. En effet, la pointe de l'instrument vibre à des fréquences différentes (141).

De plus, **la guérison est plus efficace et rapide**. Dans son étude, *Vercelloti* démontre que la cicatrisation primaire après ostéotomie et ostéoplastie est plus rapide après chirurgie piézoélectrique qu'après chirurgie par des instruments rotatifs manuels (134).

La pointe oscillante entraîne le fluide d'irrigation de refroidissement ce qui permet une **visibilité optimale**. Celle-ci est accentuée car le saignement des tissus mous environnant est moindre.

Le confort du patient est plus important car ce dernier ne subit pas l'utilisation d'instruments rotatifs beaucoup plus bruyants et vibrants : la piézochirurgie utilise des microvibrations. Le stress du patient est ainsi réduit. De plus, il y a moins de complications post-opératoires, l'asepsie est maintenue en raison de l'eau stérile qui refroidit la partie travaillante de l'instrument.

Elle permet d'assurer la **sécurité** dans les extractions dentaires surtout lorsqu'il y a une proximité avec un élément anatomique noble comme le nerf alvéolaire inférieur et diminue considérablement les risques vasculo-nerveux (142,143).

Ces instruments ultrasonores sont des outils appropriés pour réaliser des avulsions délicates, lorsque les dents sont ankylosés ou lorsque la paroi vestibulaire est fine.

3.2.5.4. Inconvénients

L'utilisation d'instruments piézoélectriques nécessite un **apprentissage** de la gestuelle afin de trouver l'équilibre parfait entre la pression exercée par le praticien et la vitesse du mouvement de l'insert (18).

Le **temps opératoire** lorsque l'on utilise des instruments ultrasonores est **augmenté** par rapport à l'utilisation d'instruments de coupe traditionnelle.

L'acquisition d'instruments piézoélectriques est relativement **chère**.

De plus, comme tout phénomène énergétique intense, les ultrasons génèrent des **effets thermiques** : ils peuvent brûler les tissus biologiques. Le couplage de l'instrumentation ultrasonore avec une irrigation est donc nécessaire afin de refroidir les parties travaillantes de l'instrument et les tissus.

3.3. Discussion

3.3.1. Comparaison de la méthode d'avulsion atraumatique par rapport à la méthode traditionnelle

L'avulsion dentaire traditionnelle s'effectue à l'aide de syndesmotomes, d'élévateurs ou encore de daviers, la pince conventionnelle pour extraire une dent. D'après la littérature récente, de nouveaux instruments et techniques peuvent remplacer ces instruments qui sont parfois traumatiques pour les tissus environnants, surtout lors d'une approche implantaire.

3.3.1.1. Séparation de racine *versus* pas de séparation de racine

Lorsqu'il n'y a pas eu de séparation de racine, le risque de fracture radiculaire, coronaire et alvéolaire est plus important. Les pans alvéolaires et les apex se fracturent plus facilement lorsque les racines des molaires ne sont pas séparées d'autant plus si les racines dentaires sont divergentes ou ankylosées.

3.3.1.2. Périotome *versus* extraction traditionnelle

Des auteurs ont montré une différence significative dans le respect de l'intégrité tissulaire autour des dents lors d'extractions avec utilisation d'un périotome manuel, par rapport à l'utilisation de techniques traditionnelles utilisant élévateur et davier. Ces derniers provoquent une mobilisation de la dent par appuis latéraux ou par pression sur la zone de moindre résistance, notamment en direction vestibulaire ce qui peut amener à des fractures des parois osseuses et donc à une résorption alvéolaire post-extractionnelle plus importante (124,144).

Dans une étude récente de 2015, *Sharma et al.* évalue l'efficacité du périotome dans les extractions dentaires par rapport à l'utilisation de l'élévateur et du davier. Il montre que l'utilisation du périotome ne compromet pas du durée de l'acte chirurgical : avec un périotome, l'extraction est plus courte par rapport à la méthode d'extraction traditionnelle. Il y a moins de complications post-extractionnelles lorsque l'avulsion est réalisée avec un périotome : la douleur post-extractionnelle ainsi que la consommation d'analgésique est moindre lorsque l'extraction était réalisée avec un périotome. De plus, le périotome respecte plus les structures environnantes, il y a moins de lacérations gingivales (121).

Beaucoup d'études de la littérature se réfèrent au périotome automatisé. Ses vibrations d'intensité contrôlée, rendent les impacts plus réguliers et moins douloureux pour le patient par rapport à la technique manuelle. De plus, l'utilisation du périotome automatisé diminue significativement la durée de la chirurgie. Dans une étude, le durée de l'acte chirurgical pour l'extraction d'une dent avec l'utilisation d'un périotome automatisé est estimée en moyenne à moins de 5 minutes (145). L'instrument automatisé favorise la maîtrise du geste du praticien.

3.3.1.3. Forcep physic versus extraction traditionnelle

Au cours des dernières années, les études comparatives sur les Physics Forceps ne cessent d'augmenter. De 2010 à nos jours, de nombreux auteurs comme *Patel, El-Henawy, Hariharan, Mandal* se sont intéressés à l'efficacité du Forcep Physic pour une avulsion dentaire par rapport à la pince traditionnelle. Ils ont ainsi évalué et comparé la douleur post-opératoire, les éventuelles fractures dentaires ou osseuses associées à l'avulsion de la dent, la durée de l'extraction, mais aussi la perte des tissus mous et durs post-extraction.

En 2015, *El-Henawy et al. (125)* comparent l'efficacité des Physics Forceps par rapport au davier traditionnel lors d'une extraction dentaire simple. Les extractions ayant été réalisées avec des Physics Forceps montrent des fractures coronaires, radiculaires et osseuses moindres par rapport aux extractions avec davier traditionnel. Ils observent que 16% des dents extraites avec une méthode traditionnelle ont subi une fracture radiculaire contre 8 % des dents extraites avec un Physic Forcep, soit le double de fractures radiculaires lorsque la dent a été extraite avec une pince traditionnelle. De même, les fractures coronaires et alvéolaires sont jusqu'à trois fois plus présentes lorsque la dent a été extraite avec une méthode traditionnelle. Les forces appliquées à l'aide d'élévateurs ou d'ouvriers lors d'une extraction dentaire provoquent des complications comme des fractures dentaires ou osseuses (122,146). Cependant, des fractures des pans vestibulaires peuvent aussi être retrouvées lors d'avulsion dentaire à l'aide d'un Physic Forcep. Ceci peut être associé à la courbe d'apprentissage de l'opérateur décrite par *Perkins NJ et al.*

Les résultats concernant la douleur sont controversés par plusieurs études. Selon *Hariharan*, il y a significativement moins de douleur post-opératoire lorsque les dents sont enlevées par le Physic Forcep par rapport au davier (122). Alors que pour *Patel et al.* il n'y a pas de différence statistiquement significative dans la sévérité de la douleur post-opératoire (146).

Des résultats suggèrent que la pince Physic Forcep réduit le temps de la chirurgie. Pour *Patel*, le temps moyen d'extraction à l'aide d'une pince Physic Forcep était de 58,8 (\pm 48,13) secondes tandis que celui d'une pince conventionnelle était de 88,33 (\pm 37,59) secondes (127). *Mandal S et al.* ont également rapporté les mêmes résultats dans leur étude comparative. Cependant, leur temps d'extraction moyen était de 139,8 secondes en utilisant des forceps physiques et de 236 secondes en utilisant des forceps classiques (147).

La conception du Physic Forcep permet d'extraire la dent de manière atraumatique contrairement aux d'ouvriers et élévateurs. En effet, contrairement aux pinces conventionnelles, les Physics Forceps font seulement un point de contact avec la surface de la dent, ce qui réduit les traumatismes sur le site chirurgical (148). La pince Physic Forcep prévient les pertes osseuses marginales et les pertes des tissus mous. De plus, à l'inverse de l'élévateur, il ne s'appuie pas contre les dents adjacentes. Par rapport à la pince traditionnelle.

Dans son étude *Patel et al.* compare les pertes osseuses marginales et les pertes gingivales post-extractionnelles en fonction de la pince utilisée.

En moyenne, la différence au niveau gingival avant et après l'extraction en utilisant des pinces Physics Forceps et des pinces conventionnelles était respectivement de 0,57 mm (\pm 0,65) et de 1,01 mm (\pm 0,75) (146).

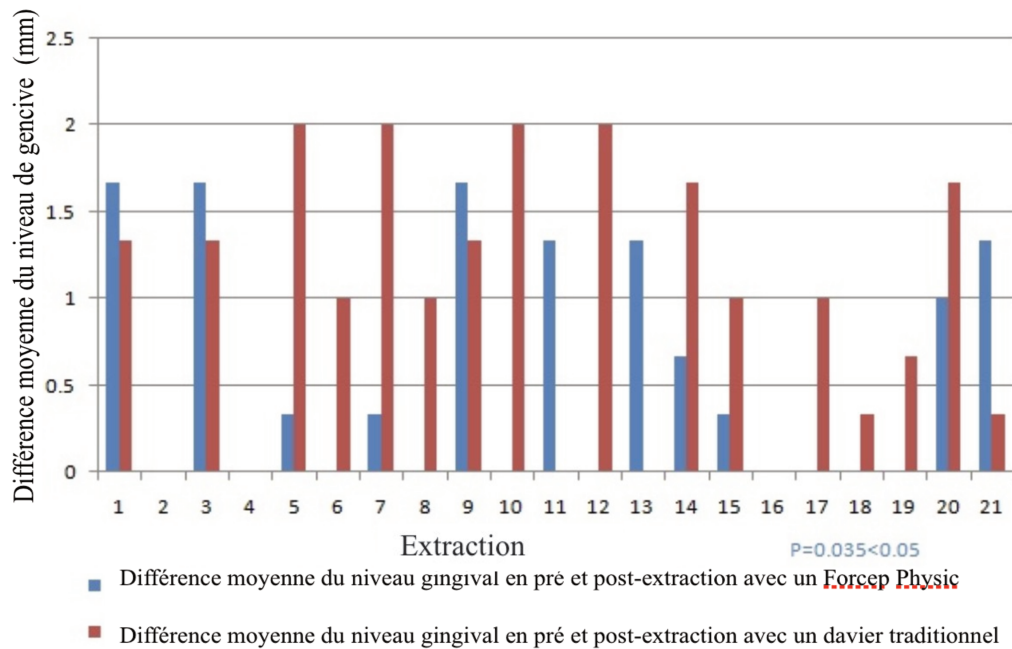


Illustration 41: Graphique comparant la différence du niveau de la gencive avant et après extraction traditionnelle/ avec Forcep Physic (146)

La différence moyenne du niveau osseux avant et après l'extraction dentaire en utilisant des pinces Physics Forceps et des pinces conventionnelles était respectivement de 1,26 mm (\pm 1,08) et de 1,87 mm (\pm 1,13). Ces deux moyennes étant statistiquement significatives (146).

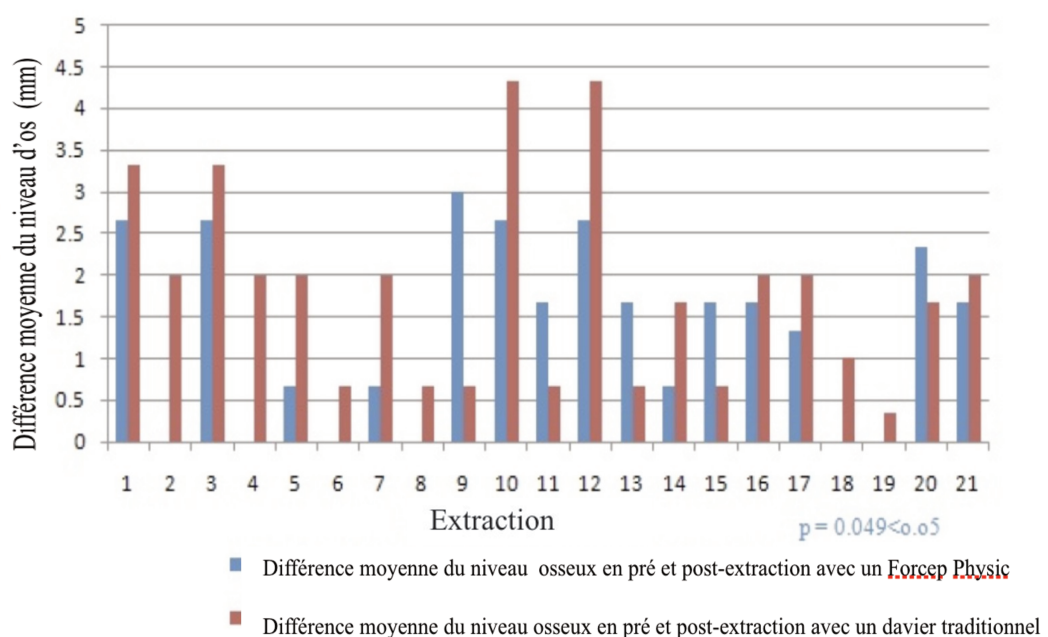


Illustration 42: Graphique comparant la différence du niveau osseux avant et après extraction traditionnelle/ avec Forcep Physic (146) 71.

3.3.1.4. Extraction verticale *versus* extraction traditionnelle

La force appliquée lors de l'extraction dentaire est la principale différence entre un système d'extraction verticale et une extraction traditionnelle (149).

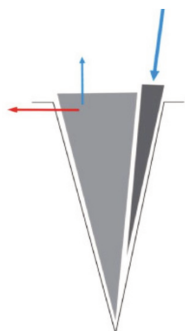


Illustration 44: forces appliquées lors d'une extraction traditionnelle (axiale et latérale) (149)

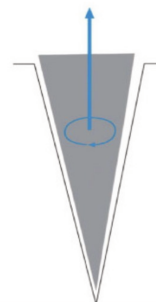


Illustration 43: Forces appliquées lors d'une extraction avec un système d'avulsion verticale (axiale)(149)

Dans un système d'extraction verticale, les forces de traction verticale minimisent les forces latérales ou obliques et conduisent à un mouvement axial de cisaillement des fibres du ligament desmodontal. Cela réduit le potentiel de lésions compressives du ligament parodontal environnant ainsi que le risque de défauts de résorption. En effet une corrélation semble exister entre les dommages mécaniques du complexe parodontal et les défauts qui en découlent. L'enlèvement du ligament initie une ostéogénèse rapide dans l'alvéole qui établit une ankylose (150).

Le système d'extraction verticale est un dispositif d'extraction moins traumatisant que la méthode classique avec des daviers. Cette dernière induit des microfractures des parois alvéolaires et surtout vestibulaires lors de l'application des forces latérales alors que l'extraction verticale utilise une force extrusive vectorisée, pour extraire la dent sans endommager les structures avoisinantes.

En général, le temps moyen d'extraction avec un système d'extraction verticale est de moins de 7 mm.

3.3.1.5. Piézochirurgie *versus* extraction traditionnelle

Le temps opératoire avec la chirurgie ultrasonique est 3 à 4 fois plus long qu'avec les instruments rotatifs, mais elle apporte de réels avantages dans la conservation des tissus avoisinants et la manipulation aisée des appareils soniques. En effet, la chirurgie osseuse à l'aide d'ultrason procure un niveau de précision et de sécurité non retrouvés avec des instruments manuels rotatifs habituels (134). Par exemple, lors de l'extraction de dents ankylosées, la finesse et la forme des inserts permettent de tracer des tranchées fines et peu délabrantes dans les zones de contact os-racine. Les vibrations ultrasonores favorisent la rupture des interfaces solides (137).

Par rapport aux méthodes traditionnelles, l'utilisation de la piezochirurgie lors d'avulsions dentaires semble être moins traumatisante et provoque des bénéfices sur la cicatrisation ainsi qu'une guérison alvéolaire plus rapide. Dans les techniques d'avulsions traditionnelles, les mouvements vigoureux produits par le levier provoquent une déchirure des fibres de Sharpey à l'écart de l'os. Cela provoque une perturbation de l'approvisionnement en sang et un traumatisme de l'alvéole qui retarde la cicatrisation alvéolaire. Lors d'avulsion avec instrument piezoélectrique, la pointe est insérée le plus apicalement possible et coupe le ligament parodontal ainsi, lorsque les fibres les plus apicales sont sectionnées, la partie coronaire de la racine n'est pas soumise à une déchirure violente lors de l'avulsion dentaire. (136,151)

De nombreux auteurs précisent que l'utilisation de la chirurgie ultrasonore limite les saignements pendant l'extraction par rapport à l'utilisation de syndesmotomes conventionnels. *Blus et Szmukler-Moncler* rapportent dans leur étude que l'utilisation d'inserts vibrants au niveau de la gencive provoque une occlusion temporaire des capillaires et diminue ainsi les saignements (136,152).

3.3.2. Tableau comparatif

D'une manière générale, si l'indication d'avulsion est réelle, il n'existe pas de contre-indications concernant l'avulsion d'une dent. Cependant, les patients présentant une atteinte générale, locale, temporaire ou définitive, nécessitent des précautions particulières : il faut faire attention au risque infectieux, hémorragique, ou encore anesthésique, et l'extraction peut être reportée.

Les indications générales d'avulsion dentaires sont d'ordre locale (destruction coronaradiculaire importantes, lésions apicales avancées, lésions parodontales avancées entraînant une mobilité, indication prothétique, indication orthodontique..) ou d'ordre générale (infections focales, pathologie générale, préparation à la radiothérapie ...)

De nombreuses études démontrent l'efficacité des techniques d'avulsions atraumatiques et présentent leurs nombreux avantages par rapport à la méthode traditionnelle réalisée à l'aide d'élévateurs ou de leviers (*tableau 4*).

Le recours à la séparation de racine, l'utilisation de pinces et d'instruments atraumatiques comme le périotome, le *Physic Forcep*, d'instrument d'extraction verticale comme le *Benex extractor*, ou encore la piezochirurgie sont de nouvelles techniques d'extractions atraumatiques qui protègent les tissus osseux et mous environnants, ce qui rend la pose d'implant favorable grâce à une préservation des tables osseuses qui diminue la nécessité de reconstruction. Cependant, peu d'études chiffrées la réelle différence de perte de substance osseuse lors de l'utilisation de telles techniques par rapport aux techniques traditionnelles.

	Extraction traditionnelle au davier/élévateur	Séparation de racine	Périotome	Forcep physic	Extraction verticale	Piézo-chirurgie
Indications	- toutes les dents/racines	Dent postérieure -Racine divergente -Racine rétentive -Racine cariée	- toutes les dents/racines	- toutes les dents avec un minimum de couronne dentaire	Racine antérieure - de longueur suffisante (7 mm) - épaisse	- Dent/racine ankylosée -dent/racine cariée -morcellement de la dent
Contre-indication	x	-dent monoradiculée	x	- si état de racine -si parois coronaires insuffisantes	-si reconstitution corono-radiculaire -longueur insuffisante de la racine -racine trop fine	-porteur implant actif
Mécanisme et Forces appliquées	- force latérale - force de compression - force axiale	-fraisage et section dentaire	- pression apicale - travaille de mésial en distal	- force de rotation vestibulaire lente	- force axiale	- microvibrations ultrasonores
Avantages	x	- évite les fractures radiculaire et alvéolaires - facilite l'acte opératoire	- mobilise la dent sans traumatisme - élargit l'espace desmodontal	- Évite les fractures radiculaires et alvéolaires - contrôle de la force nécessaire	- sectionne le ligament - évite les fractures alvéolaires - esthétique amélioré	-coupe précise et sélective du tissu dur - moins bruyant -visibilité améliorée -esthétique amélioré -confort post-op augmenté - guérison plus rapide
Inconvénients/risques	-microfracture alvéolaire -fracture radiculaire possible -complications post-op	- risque d'abimer l'os avec la fraise si manque d'attention	- peu efficace	- courbe d'apprentissage	- fracture radiculaire possible -courbe d'apprentissage - coût élevé	- durée opératoire plus longue - courbe d'apprentissage - balance coût/utilisation - coût élevé

	Extraction traditionnelle (davier/élevateur)	Séparation de racine	Périotome	Forcep physic	Extraction verticale	Piézo-chirurgie
Saignements	oui	oui	oui	oui	oui	non
Nécessite lambeau mucopériosté	parfois	parfois	non	non	non	non
Diminution de la douleur	non	oui	oui	oui	oui	oui
Durée de l'extraction	normale	diminuée	diminuée	diminuée	+/- augmentée	augmentée

Tableau 4: tableau comparatif des différentes techniques d'avulsions dentaires

Conclusion

L'extraction dentaire est l'un des actes le plus réalisé au cabinet dentaire. Lorsque le traitement prothétique est implantaire, le dilemme auquel les chirurgiens dentistes sont confrontés est de savoir comment gérer les extractions dentaires pour assurer le futur placement d'un implant dentaire. L'extraction dentaire doit alors idéalement s'accompagner d'une réflexion en amont.

En effet, les conséquences d'avulsion dentaire et les événements qui en suivent ont largement été décrits, par de nombreuses revues de la littérature, comme, entraînant des changements dimensionnels de la crête osseuse et ainsi une perte osseuse, d'autant plus lorsque la corticale est fine. Cette alvéolyse post-extractionnelle se produit très rapidement et va se poursuivre pendant plusieurs mois, conduisant à des situations pré-implantaires défavorables sur le plan esthétique et fonctionnel. C'est donc avant qu'elle ne se produise qu'il faut intervenir, par des techniques d'avulsions dentaires atraumatiques, respectant l'environnement adjacent. Cette approche d'avulsion atraumatique sera guidée par la compréhension de la biologie tissulaire en terme d'altérations des tissus durs et mous après extraction, qui concourent à cette résorption.

L'avulsion atraumatique fait référence à de nouvelles techniques et de récents instruments dans le but de :

- préserver au maximum des tissus environnants (tissus durs et tissus mous) en évitant toute compression excessive pendant l'avulsion, afin d'éviter d'augmenter l'alvéolyse post-extractionnelle.
- diminuer de la douleur post-extractionnelle.
- augmenter l'esthétique futur.

Tout ceci améliorera la qualité de la cicatrisation alvéolaire et facilitera le placement d'implants dentaires avec une mise en place différée ou immédiate. Cependant, la réalisation d'extractions atraumatiques semble présenter davantage de résultats esthétiques et fonctionnels lorsque la pose de l'implant est immédiate : ce protocole documenté dans diverses études cliniques réduit le nombre d'interventions et prétend aussi réduire la perte osseuse horizontale et maintenir la papille interdentaire. L'implantation immédiate tire profit à l'extraction atraumatique.

De nos jours, l'intérêt de l'extraction-implantation immédiate ne cesse de croître, le développement de la chirurgie mini-invasive est alors indispensable et ne cessera d'augmenter. La notion d'avulsion atraumatique devra s'inscrire de plus en plus dans le quotidien des praticiens.

Références bibliographiques

1. Durual S. L'ostéointégration. Vol. 2. 2017. 72 p.
2. Guillaume B médecin. Les implants dentaires : techniques, prescriptions, avantages : tout savoir sur la pratique. [Paris] : Ellébore. DL 2011.; 2011. ([Santé-vérité]).
3. Dah-Jouonzo H, Baron P, Faure J, Treil J, Borianne P. Mesures volumétriques des bases osseuses maxillaires et des cavités aériennes de la face en imagerie 3D. *Int Orthod.* 1 déc 2005;3(4):269-89.
4. Saffar JL, Lasfargues JJ, Cherruau M. Alveolar bone and the alveolar process: the socket that is never stable. *Periodontol 2000.* févr 1997;13:76-90.
5. Larousse É. Encyclopédie Larousse en ligne - squelette grec skeleton de skeletos desséché [Internet]. [cité 10 mai 2018]. Disponible sur: <http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/squelette/93584>
6. Implants et prothèse pour l'orthopédie et la traumatologie [Internet]. [cité 23 janv 2018]. Disponible sur: <http://www.afphb.be/doc/afphb/implants/lienshtm/imp/ortho.htm>
7. Recherche - Inserm images. Recherche - Inserm images. [cité 10 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.images.inserm.fr:443/fr>
8. Cheynet F, Gola R, Guyot L, Richard O. Analyse céphalométrique fonctionnelle et esthétique de profil. Springer Science & Business Media; 2008. 165 p.
9. Bass SL, Triplett RG. The effects of preoperative resorption and jaw anatomy on implant success. A report of 303 cases. *Clin Oral Implants Res.* déc 1991;2(4):193-8.
10. Bartolucci EG, Mangano C, Di Stefano M. Réussir les implants dentaires. [Texte imprimé]. Paris : Masson, DL 2006.; 2006. (Techniques dentaires).
11. Lekholm U, Zarb GA. In: Patient selection and preparation. Tissue integrated prostheses: osseointegration in clinical dentistry. Branemark PI, Zarb GA, Albrektsson T, editor. Chicago: Quintessence Publishing Company; 1985. p. 199–209.
12. Farnsworth D, Rossouw PE, Ceen RF, Buschang PH. Cortical bone thickness at common miniscrew implant placement sites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011; (4):495.
13. Quantitative CBCT evaluation of maxillary and mandibular cortical bone thickness and density variability for orthodontic miniplate placement. *Int Orthod.* 1 déc 2017;15(4):610-24.
14. Davarpanah M, Szmukler-Moncler S, Rajzbaum P, Jacobowicz-Kohen B, Caraman M, Capelle-Ouadah N, et al. Les implants en odontologie : l'essentiel de la pratique. [Rueil-Malmaison] : Éditions CdP, impr. 2015, cop. 2015.; 2015. (Mémento).

15. Cook VC, Timock AM, Crowe JJ, Wang M, Covell DA. Accuracy of alveolar bone measurements from cone beam computed tomography acquired using varying settings. *Orthod Craniofac Res.* 1 avr 2015;18:127-36.
16. Seriwatanachai D. Reference and Techniques used in Alveolar Bone Classification. *JBR J Interdiscip Med Dent Sci.* 1 janv 2015;03.
17. Harris D. Advanced surgical procedures: bone augmentation. *Dent Update.* oct 1997;24(8):332-7.
18. Poblete-Michel MG. *Les applications chirurgicales des ultrasons.* Paris; Chicago: Quintessence international; 2008.
19. Jemt T, Lekholm U. Implant treatment in edentulous maxillae: a 5-year follow-up report on patients with different degrees of jaw resorption. *Int J Oral Maxillofac Implants.* juin 1995;10(3):303-11.
20. Balleri P, Cozzolino A, Ghelli L, Momicchioli G, Varriale A. Stability measurements of osseointegrated implants using Osstell in partially edentulous jaws after 1 year of loading: a pilot study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2002;4(3):128-32.
21. Swami V, Vijayaraghavan V, Swami V. Current trends to measure implant stability. *J Indian Prosthodont Soc.* 2016;16(2):124-30.
22. Miyamoto I, Tsuboi Y, Wada E, Suwa H, Iizuka T. Influence of cortical bone thickness and implant length on implant stability at the time of surgery--clinical, prospective, biomechanical, and imaging study. *Bone.* déc 2005;37(6):776-80.
23. NM Uday, Kamath Prashanth and AR Vinod Kumar. CBCT evaluation of interdental cortical bone thickness at common orthodontic miniscrew implant placement sites - Semantic Scholar. *Int J Appl Dent Sci.* 2017 [cité 12 mars 2018];(3(1): 35-41).
24. Devlin H, Horner K, Ledgerton D. A comparison of maxillary and mandibular bone mineral densities. *J Prosthet Dent.* 1 mars 1998;79(3):323-7.
25. Park H-S, Lee Y-J, Jeong S-H, Kwon T-G. Density of the alveolar and basal bones of the maxilla and the mandible. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1 janv 2008;133(1):30-7.
26. Grimoud A-M, Gibbon V e., Ribot I. Predictive factors for alveolar fenestration and dehiscence. *HOMO J Comp Hum Biol.* 2017;(3):167.
27. Ohiomoba H, Sonis A, Yansane A, Friedland B. Original article: Quantitative evaluation of maxillary alveolar cortical bone thickness and density using computed tomography imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1 janv 2017;151:82-91.
28. Tian Y, Liu F, Sun H, Lv P, Cao Y, Yu M, et al. Alveolar bone thickness around maxillary central incisors of different inclination assessed with cone-beam computed tomography. *Korean J Orthod.* sept 2015;45(5):245-52.

29. Leung CC, Palomo L, Griffith R, Hans MG. Accuracy and reliability of cone-beam computed tomography for measuring alveolar bone height and detecting bony dehiscences and fenestrations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1 avr 2010;137(4):S109-19.
30. Mengel R, Candir M, Shiratori K, Flores-de-Jacoby L. Digital volume tomography in the diagnosis of periodontal defects: an in vitro study on native pig and human mandibles. *J Periodontol.* mai 2005;76(5):665-73.
31. Pilloni A, Rotundo R, Gambarini G, Testarelli L, Dell'olmo F. Bone dehiscences and fenestrations of the anterior mandibular facial bone wall: a retrospective Cone Beam Computed Tomography study. *Minerva Stomatol.* févr 2018 [cité 24 févr 2018];
32. Rodrigues EAV, Machado WAS, Almeida CAP de, Souza ACB de S, Menezes CC de, Barceleiro M de O, et al. Prevalence of dehiscences and fenestrations in human cadavers. *Revistas.* 25 sept 2017;74(3):198.
33. Huynh-Ba G, Pjetursson BE, Sanz M, Cecchinato D, Ferrus J, Lindhe J, et al. Analysis of the socket bone wall dimensions in the upper maxilla in relation to immediate implant placement. *Clin Oral Implants Res.* janv 2010;21(1):37-42.
34. Braut V, Bornstein MM, Belser U, Buser D. Thickness of the anterior maxillary facial bone wall-a retrospective radiographic study using cone beam computed tomography. *Int J Periodontics Restorative Dent.* avr 2011;31(2):125-31.
35. Kalbassi S, Chiong FW, Chau HY, Chew WH. Quantitative three-dimensional assessment of buccal alveolar bone thickness with dental cone-beam computed tomography. *Biomed Res [Internet].* 2017 [cité 11 mars 2018];28(19).
36. Baumgaertel S, Hans MG. Buccal cortical bone thickness for mini-implant placement. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* août 2009;136(2):230-5.
37. Holmes PB, Wolf BJ, Zhou J. A CBCT atlas of buccal cortical bone thickness in interradicular spaces. *Angle Orthod.* 11 mars 2015;85(6):911-9.
38. Norton MR, Gamble C. Bone classification: an objective scale of bone density using the computerized tomography scan. *Clin Oral Implants Res.* févr 2001;12(1):79-84.
39. Cardaropoli G, Araújo M, Lindhe J. Dynamics of bone tissue formation in tooth extraction sites. An experimental study in dogs. *J Clin Periodontol.* sept 2003;30(9):809-18.
40. Discepoli N, Vignoletti F, Laino L, de Sanctis M, Muñoz F, Sanz M. Early healing of the alveolar process after tooth extraction: an experimental study in the beagle dog. *J Clin Periodontol.* juin 2013;40(6):638-44.
41. Amler MH, Johnson PL, Salman I. Histological and histochemical investigation of human alveolar socket healing in undisturbed extraction wounds. *J Am Dent Assoc* 1939. juill 1960;61:32-44.

42. Amler MH. The time sequence of tissue regeneration in human extraction wounds. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1 janv 1969;27:309-18.
43. Trombelli L, Farina R, Marzola A, Bozzi L, Liljenberg B, Lindhe J. Modeling and remodeling of human extraction sockets. *J Clin Periodontol.* juill 2008;35(7):630-9.
44. Evian CI, Rosenberg ES, Coslet JG, Corn H. The osteogenic activity of bone removed from healing extraction sockets in humans. *J Periodontol.* févr 1982;53(2):81-5.
45. Philippe B. *Parodontologie & dentisterie implantaire : Volume 1 : médecine parodontale (Coll. Dentaire).* Lavoisier; 2014. 722 p.
46. de Revel T, Doghmi K. *Physiologie de l'hémostase.* EMC - Dent. 1 févr 2004;1(1):71-81.
47. Bouchard P, Frémont M, Tulasne J-F. *Parodontologie & dentisterie implantaire. Volume 2, Volume 2, .* 2015.
48. Frost HM. A 2003 Update of Bone Physiology and Wolff's Law for Clinicians. *Angle Orthod.* 1 févr 2004;74(1):3-15.
49. Netgen. *Remodelage osseux : nouvelles approches thérapeutiques.* Revue Médicale Suisse.
50. L'os à l'échelle microscopique [Internet]. [cité 10 mai 2018]. Disponible sur: <http://tpe-fabrication-os.e-monsite.com/pages/l-os-a-l-echelle-microscopique.html>
51. Frost HM. Skeletal structural adaptations to mechanical usage (SATMU): 2. Redefining Wolff's law: the remodeling problem. *Anat Rec.* avr 1990;226(4):414-22.
52. Courpron P, Meunier P, Vignon G. [Dynamics of bone remodeling explained by Harold Frost. Theory of the B. M.U. (basic multicellular unit)]. *Nouv Presse Med.* 8 févr 1975;4(6):421-4.
53. Raggatt LJ, Partridge NC. Cellular and molecular mechanisms of bone remodeling. *J Biol Chem.* 13 août 2010;285(33):25103-8.
54. De Vernejoul MC; P. Marie. Cellules osseuses et remodelage osseux. *Medecine/sciences.* 1993;(9):192-203.
55. Bonewald LF. Osteocytes as dynamic multifunctional cells. *Ann N Y Acad Sci.* nov 2007;1116:281-90.
56. Bellido T. Osteocyte-Driven Bone Remodeling. *Calcif Tissue Int.* 1 janv 2014;94(1):25-34.
57. Aguirre JI, Plotkin LI, Stewart SA, Weinstein RS, Parfitt AM, Manolagas SC, et al. Osteocyte apoptosis is induced by weightlessness in mice and precedes osteoclast recruitment and bone loss. *J Bone Miner Res Off J Am Soc Bone Miner Res.* avr 2006;21(4):605-15.

58. Wein MN, Kronenberg HM. Regulation of Bone Remodeling by Parathyroid Hormone. *Cold Spring Harb Perspect Med.* 22 janv 2018;a031237.
59. Fujita T, Fukuyama R, Izumo N, Hirai T, Meguro T, Nakamuta H, et al. Transactivation of core binding factor alpha1 as a basic mechanism to trigger parathyroid hormone-induced osteogenesis. *Jpn J Pharmacol.* août 2001;86(4):405-16.
60. Delgado-Calle J, Tu X, Pacheco-Costa R, McAndrews K, Edwards R, Pellegrini GG, et al. Control of Bone Anabolism in Response to Mechanical Loading and PTH by Distinct Mechanisms Downstream of the PTH Receptor. *J Bone Miner Res.* 1 mars 2017;32(3):522-35.
61. Tu X, Delgado-Calle J, Condon KW, Maycas M, Zhang H, Carlesso N, et al. Osteocytes mediate the anabolic actions of canonical Wnt/ β -catenin signaling in bone. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 3 févr 2015;112(5):E478-486.
62. Pacifici R. T cells, osteoblasts, and osteocytes: interacting lineages key for the bone anabolic and catabolic activities of parathyroid hormone. *Ann N Y Acad Sci.* janv 2016;1364(1):11-24.
63. Roberto ePacifici. The Role of Il-17 and Th17 Cells in the Bone Catabolic Activity of Pth. *Front Immunol Vol 7* 2016. 2016;
64. Dougall WC, Glaccum M, Charrier K, Rohrbach K, Brasel K, De Smedt T, et al. RANK is essential for osteoclast and lymph node development. *Genes Dev.* 15 sept 1999;13(18):2412-24.
65. Takahashi N, Udagawa N, Takami M, Suda T. Chapter 7 - Cells of Bone: Osteoclast Generation. In: Bilezikian JP, Raisz LG, Rodan GA, éditeurs. *Principles of Bone Biology (Second Edition)* San Diego: Academic Press; 2002 [cité 5 févr 2018]. p. 109-26.
66. Tsuda E, Goto M, Mochizuki S, Yano K, Kobayashi F, Morinaga T, et al. Isolation of a novel cytokine from human fibroblasts that specifically inhibits osteoclastogenesis. *Biochem Biophys Res Commun.* 8 mai 1997;234(1):137-42.
67. Gallagher JC, Sai AJ. Molecular biology of bone remodeling: implications for new therapeutic targets for osteoporosis. *Maturitas.* avr 2010;65(4):301-7.
68. Delgado-Calle J, Bellido T. Osteocytes and Skeletal Pathophysiology. *Curr Mol Biol Rep.* déc 2015;1(4):157-67.
69. Baron R. L'ostéoclaste et les mécanismes moléculaires de la résorption osseuse. *médecine/sciences.* déc 2001;17(12):1260-9.
70. McHugh KP, Hodivala-Dilke K, Zheng MH, Namba N, Lam J, Novack D, et al. Mice lacking beta3 integrins are osteosclerotic because of dysfunctional osteoclasts. *J Clin Invest.* févr 2000;105(4):433-40.
71. Haÿ E, Laplantine E, Geoffroy V, Frain M, Kohler T, Müller R, et al. N-Cadherin Interacts with Axin and LRP5 To Negatively Regulate Wnt/ β -Catenin Signaling, Osteoblast Function, and Bone Formation. *Mol Cell Biol.* févr 2009;29(4):953-64.

72. Yao Q, Yu C, Zhang X, Zhang K, Guo J, Song L. Wnt/ β -catenin signaling in osteoblasts regulates global energy metabolism. *BONE*. avr 2017;97:175-83.
73. Lecanda F, Towler DA, Ziambaras K, Cheng S-L, Koval M, Steinberg TH, et al. Gap Junctional Communication Modulates Gene Expression in Osteoblastic Cells. *Mol Biol Cell*. août 1998;9(8):2249-58.
74. Marie P. Différenciation, fonction et contrôle de l'ostéoblaste. *médecine/sciences*. 17(12):1252-9.
75. Manolagas SC. Birth and death of bone cells: basic regulatory mechanisms and implications for the pathogenesis and treatment of osteoporosis. *Endocr Rev*. avr 2000;21(2):115-37.
76. Wu M, Chen G, Li Y-P. TGF- β and BMP signaling in osteoblast, skeletal development, and bone formation, homeostasis and disease. *Bone Res*. 26 avr 2016;4:16009.
77. Yamaguchi A, Komori T, Suda T. Regulation of osteoblast differentiation mediated by bone morphogenetic proteins, hedgehogs, and Cbfa1. *Endocr Rev*. août 2000;21(4):393-411.
78. Osagie-Clouard L, Sanghani A, Coathup M, Briggs T, Bostrom M, Blunn G. Parathyroid hormone 1-34 and skeletal anabolic action: The use of parathyroid hormone in bone formation. *Bone Jt Res*. 1 janv 2017;6(1):14-21.
79. Blair HC, Larrouture QC, Li Y, Lin H, Beer-Stoltz D, Liu L, et al. Osteoblast Differentiation and Bone Matrix Formation In Vivo and In Vitro. *Tissue Eng Part B Rev*. 16 nov 2016;23(3):268-80.
80. Cawood JI, Howell RA. A classification of the edentulous jaws. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 1 sept 1988;17:232-6.
81. Atwood DA. Reduction of residual ridges: a major oral disease entity. *J Prosthet Dent*. sept 1971;26(3):266-79.
82. Tan WL, Wong TLT, Wong MCM, Lang NP. A systematic review of post-extraction alveolar hard and soft tissue dimensional changes in humans. *Clin Oral Implants Res*. févr 2012;23 Suppl 5:1-21.
83. Carlsson GE, Persson G. Morphologic changes of the mandible after extraction and wearing of dentures. A longitudinal, clinical, and x-ray cephalometric study covering 5 years. *Odontol Revy*. 1967;18(1):27-54.
84. Schropp L. Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction. A clinical and radiographic 12-month prospective study. 2002;
85. Jones W, Roberts RE. Pathological Calcification and Ossification in Relation to Leriche and Policard's Theory. *Proc R Soc Med*. mai 1933;26(7):853-9.

86. Princ G, Salmon TP Jean-François Gaudy, Edouard Henriot, Matthieu Moret, Benjamin. Chirurgie osseuse préimplantaire - Editions CdP: 2e édition. Initiatives Sante; 2015. 204 p.
87. Pietrokovski J, Massler M. Alveolar ridge resorption following tooth extraction. *J Prosthet Dent.* 1 janv 1967;17(1):21-7.
88. Hsu J-T, Hsu J-T, Huang H-L, Fuh L-J, Li R-W, Shen Y-W, et al. Location of the Mandibular Canal and Thickness of the Occlusal Cortical Bone at Dental Implant Sites in the Lower Second Premolar and First Molar. *Comput Math METHODS Med.* 2013;
89. Pietrokovski J, Massler M. Residual ridge remodeling after tooth extraction in monkeys. *J Prosthet Dent.* 1 janv 1971;26:119-29.
90. Schropp L, Wenzel A, Kostopoulos L, Karring T. Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: a clinical and radiographic 12-month prospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent.* août 2003;23(4):313-23.
91. Chappuis V, Engel O, Reyes M, Shahim K, Nolte L-P, Buser D. Ridge alterations post-extraction in the esthetic zone: a 3D analysis with CBCT. *J Dent Res.* déc 2013;92(12 Suppl):195S-201S.
92. Araújo MG, Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol.* 1 févr 2005;32(2):212-8.
93. Clozza E, Biasotto M, Cavalli F, Moimas L, Di Lenarda R. Three-dimensional evaluation of bone changes following ridge preservation procedures. *Int J Oral Maxillofac Implants.* août 2012;27(4):770-5.
94. Van der Weijden F, Dell'Acqua F, Slot DE. Alveolar bone dimensional changes of post-extraction sockets in humans: a systematic review. *J Clin Periodontol.* déc 2009;36(12):1048-58.
95. Lekovic V, Camargo PM, Klokkevold PR, Weinlaender M, Kenney EB, Dimitrijevic B, et al. Preservation of alveolar bone in extraction sockets using bioabsorbable membranes. *J Periodontol.* sept 1998;69(9):1044-9.
96. Iasella JM, Greenwell H, Miller RL, Hill M, Drisko C, Bohra AA, et al. Ridge Preservation with Freeze-Dried Bone Allograft and a Collagen Membrane Compared to Extraction Alone for Implant Site Development: A Clinical and Histologic Study in Humans. *J Periodontol.* 1 juill 2003;74(7):990-9.
97. Conséquences de la perte des dents - Dr Asin, Dentiste à Lyon [Internet]. Implant Dentaire Lyon | Dr Miguel Asin. [cité 15 févr 2018]. Disponible sur: <http://www.dr-asin-miguel.chirurgiens-dentistes.fr/infos/consequences-de-la-perte-des-dents/>
98. Palioto D, Taba M Jr, Maia L, Maia LP, Reino DM, Novaes AB Jr, et al. Influence of Periodontal Biotype on Buccal Bone Remodeling after Tooth Extraction Using the Flapless Approach with a Xenograft: A Histomorphometric and Fluorescence Study in Small Dogs. *Clin IMPLANT Dent Relat Res.* janv 2015;17:E221-35.

99. Seibert JS. Reconstruction of deformed, partially edentulous ridges, using full thickness onlay grafts. Part I. Technique and wound healing. *Compend Contin Educ Dent.* oct 1983;4(5):437-53.
100. Allen EP, Gainza CS, Farthing GG, Newbold DA. Improved technique for localized ridge augmentation. A report of 21 cases. *J Periodontol.* avr 1985;56(4):195-9.
101. Atwood DA. Some clinical factors related to rate of resorption of residual ridges. *J Prosthet Dent.* 1 août 2001;86(2):119-25.
102. Caplanis N, Lozada JL, Kan JYK. Extraction defect assessment, classification, and management. *J Calif Dent Assoc.* nov 2005;33(11):853-63.
103. Cohn S a. Disuse atrophy of the periodontium in mice following partial loss of function. *Arch Oral Biol.* 1 janv 1966;11:95,IN23,103,IN25,105-102,IN24,104,IN26,105.
104. Fickl S, Zuhr O, Wachtel H, Bolz W, Huerzeler M. Tissue alterations after tooth extraction with and without surgical trauma: a volumetric study in the beagle dog. *J Clin Periodontol.* 1 avr 2008;35(4):356-63.
105. Araújo MG, Lindhe J. Ridge alterations following tooth extraction with and without flap elevation: an experimental study in the dog. *Clin Oral Implants Res.* 1 juin 2009;20(6):545-9.
106. Saldanha JB, Casati MZ, Neto FH, Sallum EA, Nociti FH. Smoking May Affect the Alveolar Process Dimensions and Radiographic Bone Density in Maxillary Extraction Sites: A Prospective Study in Humans. *J Oral Maxillofac Surg.* 1 sept 2006;64(9):1359-65.
107. Balaji SM. Tobacco smoking and surgical healing of oral tissues: A review. *Indian J Dent Res.* 10 janv 2008;19(4):344.
108. Bannach SV, Teixeira FB, Fernandes LMP, Ferreira RO, Santana LN da S, Fontes-Júnior EA, et al. Alveolar bone loss induced by chronic ethanol consumption from adolescence to adulthood in Wistar rats. *Indian J Exp Biol.* févr 2015;53(2):93-7.
109. Poubel VL do N, Silva CAB, Mezzomo LAM, De Luca Canto G, Rivero ERC. The risk of osteonecrosis on alveolar healing after tooth extraction and systemic administration of antiresorptive drugs in rodents: a systematic review. *J Cranio-Maxillofac Surg.* 1 févr 2018;46(2):245-56.
110. Aguirre J, Altman M, Vanegas S, Franz S, Bassit A, Wronski T. Effects of alendronate on bone healing after tooth extraction in rats. *Oral Dis.* 1 oct 2010;16(7):674-85.
111. Babbush CA. A new atraumatic system for tooth removal and immediate implant restoration. *Implant Dent.* juin 2007;16(2):139-45.
112. Chandra Sekar A, Praveen M, Saxena A, Gautam A. Immediate Implant Placement: A Case Report. *J Indian Prosthodont Soc.* juin 2012;12(2):120-2.

113. Zeren KJ. Minimally invasive extraction and immediate implant placement: the preservation of esthetics. *Int J Periodontics Restorative Dent.* avr 2006;26(2):171-81.
114. Extractions des dents : chirurgie buccale [Internet]. [cité 30 août 2017]. Disponible sur: <http://www.les-implants-dentaires.com/implants-multimedia/chirurgie/extractions-dentaires.htm>
115. JL. Charrier - P. Trambila. Extraction des molaires inférieures : Propositions de 10 commandements. *L'information Dentaire.* 23 janv 2013;
116. David L. Hoexter. Preservation of surrounding Tissue with New Instrumentation. Volume 3, Issue 4. avr 2007;
117. Complements sinusiens : quoi de neuf docteur ? - LS - Dr Bensahel | Anthogyr France [Internet]. [cité 14 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.anthogyr.fr/actualites/la-presse-en-parle/complements-sinusiens-quoi-de-neuf-docteur-ls-dr-bensahel>
118. Exo Safe® : l'extraction atraumatique et mini-invasive par le Dr Jean-Baptiste VERDINO & le Dr David MARDENALOM | Anthogyr France [Internet]. [cité 3 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.anthogyr.fr/actualites/la-presse-en-parle/exo-safe-extraction-atraumatique-et-mini-invasive-par-le-dr-jean>
119. Jason White, DDS1, • Dan Holtzclaw, DDS, MS2, • Nicholas Toscano, DDS, MS3. Powertome® Assisted Atraumatic Tooth Extraction. *The Journal of Implant & Advanced Clinical Dentistry.* sept 2009;
120. Levitt D. Atraumatic extraction and root retrieval using the periotome: a precursor to immediate placement of dental implants. *Dent Today.* nov 2001;20(11):53-7.
121. Sharma SD, Vidya B, Alexander M, Deshmukh S. Periotome as an Aid to Atraumatic Extraction: A Comparative Double Blind Randomized Controlled Trial. *J Maxillofac Oral Surg.* 2015;(3):611.
122. Hariharan S, Narayanan V, Soh CL. Split-mouth comparison of Physics forceps and extraction forceps in orthodontic extraction of upper premolars. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 1 déc 2014;52(10):e137-40.
123. Perkins NJ, Perez HM, Misch CE, Golden R. P35 The physics forceps – a breakthrough in dental extraction technology. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 1 mai 2010;48:S34.
124. Weiss A, Stern A, Dym H. Technological Advances in Extraction Techniques and Outpatient Oral Surgery. *Dent Clin.* 1 juill 2011;55(3):501-13.
125. El-Kenawy MH, Ahmed WMS. Comparison Between Physics and Conventional Forceps in Simple Dental Extraction. *J Maxillofac Oral Surg.* 1 déc 2015;14(4):949-55.
126. Dr. Sulphi Abdul Basheer. Comparative evaluation between physics forceps and conventional extraction forceps in extraction of maxillary molars. *International Journal of Applied Dental Sciences.* 2017;152-4.

127. Misch CE, Perez HM. Atraumatic extractions: a biomechanical rationale. *Dent Today*. août 2008;27(8):98, 100—1.
128. Jain A, Sridevi U. An innovative approach for atraumatic tooth extraction for immediate implant placement by using Sopian extraction kit: A case report. *Dent Oral Craniofacial Res* [Internet]. 2016 [cité 12 mars 2018];2(2). Disponible sur: <http://oatext.com/An-innovative-approach-for-atraumatic-tooth-extraction-for-immediate-implant-placement-by-using-Sopian-extraction-kit-A-case-report.php>
129. Kelly RD, Addison O, Tomson PL, Krastl G, Dietrich T. Atraumatic surgical extrusion to improve tooth restorability: A clinical report. *J Prosthet Dent*. 1 juin 2016;115(6):649-53.
130. Clemens Walter, Julia C. Schmidt, Thomas Dietrich. Minimalinvasive Zahnentfernung mit dem Benex-Extraktionssystem. *Oral Chirurgie*. Quintessenz. 2013;
131. Muska E, Walter C, Knight A, Taneja P, Bulsara Y, Hahn M, et al. Atraumatic vertical tooth extraction: a proof of principle clinical study of a novel system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 1 nov 2013;116(5):e303-10.
132. Ren S-X, Hu X-L, Li J-H, Jiang X, Lin Y. [A minimally invasive extraction technique using Benex Extraction System in flapless immediate implant placement in anterior teeth]. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue Shanghai J Stomatol*. juin 2016;25(3):334-9.
133. Horton JE, Tarpley TM, Jacoway JR. Clinical applications of ultrasonic instrumentation in the surgical removal of bone. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. mars 1981;51(3):236-42.
134. Vercellotti T. Technological characteristics and clinical indications of piezoelectric bone surgery. *Minerva Stomatol*. mai 2004;53(5):207-14.
135. Thomas M, Akula U, Ealla KKR, Gajjada N. Piezosurgery: A Boon for Modern Periodontics. *J Int Soc Prev Community Dent*. févr 2017;7(1):1-7.
136. Blus C, Serge S-M. Atraumatic Tooth Extraction and Immediate Implant Placement with Piezosurgery: Evaluation of 40 Sites After at Least 1 Year of Loading. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 1 août 2010;30:355-63.
137. Peivandi A, Bugnet R, Debize E, Gleizal A, Dohan DM. L'ostéotomie piézoélectrique: applications en chirurgie parodontale et implantaire. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*. 1 nov 2007;108(5):431-40.
138. Papadimitriou DEV, Geminiani A, Zahavi T, Ercoli C. Sonosurgery for atraumatic tooth extraction: a clinical report. *J Prosthet Dent*. déc 2012;108(6):339-43.
139. Kafel N, Kolodziejski J, Niemiera M, Reed M. Separation of the periodontal ligament for atraumatic tooth extraction. In: 2014 40th Annual Northeast Bioengineering Conference (NEBEC). 2014. p. 1-2.

140. Pavlíková G, Foltán R, Horká M, Hanzelka T, Borunská H, Šedý J. Piezosurgery in oral and maxillofacial surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1 mai 2011;40(5):451-7.
141. Schlee M, Steigmann M, Bratu E, Garg AK. Piezosurgery: basics and possibilities. *Implant Dent.* déc 2006;15(4):334-40.
142. Mantovani E, Arduino PG, Schierano G, Ferrero L, Gallesio G, Mozzati M, et al. A Split-Mouth Randomized Clinical Trial to Evaluate the Performance of Piezosurgery Compared With Traditional Technique in Lower Wisdom Tooth Removal. *J Oral Maxillofac Surg.* 1 oct 2014;72(10):1890-7.
143. Piezosurgery versus Rotatory Osteotomy in Mandibular Impacted Third Molar Extraction [Internet]. [cité 15 oct 2017]. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/doc-distant.univ-lille2.fr/pmc/articles/PMC5502515/>
144. Vergara JA, Caffesse RG. Preservation of esthetics with implant dentistry: a clinical report. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2002;4(4):200-11.
145. Kang J, Dym H, Stern A. Use of the Powertome Periosteal Elevator to Preserve Alveolar Bone During Tooth Extraction – A Preliminary Study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 1 oct 2009;108(4):524-5.
146. Patel HS, Managutti AM, Menat S, Agarwal A, Shah D, Patel J. Comparative Evaluation of Efficacy of Physics Forceps versus Conventional Forceps in Orthodontic Extractions: A Prospective Randomized Split Mouth Study. *J Clin Diagn Res.* juill 2016;10(7):41.
147. Iosr journals, Dr.Soumen Mandal, Dr. Sunil Kr. Gupta, Dr. Ankur Mittal, Dr. Ritesh Garg. Collate On the Ability of Physics Forceps V/S Conventional Forceps in Multirooted Mandibular Tooth Extractions. 2015;
148. Ramakrishna Shenoii., Sapna K. Vadera and Nikhil Moriwali. Comparative evaluation of efficacy of physics forceps and conventional extraction forceps in extraction of upper molars- a randomised controlled trial. *Int J Curr Adv Res.* août 2017;Volume 6; Issue 8:Page No. 5467-5471.
149. BenexExtractor [Internet]. [cité 14 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.benex-dent.com/en/benex-extraktor/>
150. Andreasen JO, Kristerson L. The effect of limited drying or removal of the periodontal ligament. Periodontal healing after replantation of mature permanent incisors in monkeys. *Acta Odontol Scand.* 1981;39(1):1-13.
151. Agarwal E, Masamatti SS, Kumar A. Escalating Role of Piezosurgery in Dental Therapeutics. *J Clin Diagn Res JCDR.* oct 2014;8(10):ZE08-ZE11.
152. C B, S S-M. Relevance of soft tissue cutting with an ultra-sonic surgical device: 091. *Clin Oral Implants Res.* 2007;(5).

Table des figures

Illustration 1: radiographie de profil du maxillaire. 1 : sinus volumineux.....	17
Illustration 2: coupe axiale au CBCT du maxillaire (3)	17
Illustration 3: Coupe axiale au CBCT de la mandibule (image personnelle).....	18
Illustration 4: arcade dentaire inférieure vue de profil (image personnelle)	18
Illustration 5: Schéma d'une coupe osseuse (Larousse) (5).....	18
Illustration 6: schéma d'une coupe d'os compact (6).....	19
Illustration 7: os spongieux au microscope (7).....	19
Illustration 8: Coupe transversale d'une première prémolaire mandibulaire (saffar et coll) (4).....	20
Illustration 9: classification de la densité osseuse selon Lekholm et Zarb (11).....	21
Illustration 10: mesures des pans vestibulaires et palatins en fonction de l'inclinaison de l'incisive centrale. A, groupe ayant l'incisive inclinée en palatin ; B, groupe ayant une inclinaison normale de l'incisive; C, groupe ayant une inclinaison vestibulaire de l'incisive. L'unité des données numériques sur la figure est en millimètres (28).....	25
Illustration 11: 1ere image :Fenestration due à l'inclinaison de la dent. Il n'y a plus d'os alvéolaire au niveau de l'apex (0.0 mm). 2eme image : Déhiscence, on remarque l'absence d'os en vestibulaire (28).....	25
Illustration 12: Section maxillaire et mandibulaire avec les mesures de la densité et de l'épaisseur de la corticale de l'os maxillaire et mandibulaire (13).....	27
Illustration 13: coupe mésio-distal d'une alvéole post-extractionnelle à différents intervalles (x16)(39).....	29
Illustration 14: Cicatrisation alvéolaire du jour de l'extraction jusqu'au 40 ème jour selon Almer (42).....	31
Illustration 15: Pourcentage moyen des différents composants tissulaires calculé à des temps différents (43).....	32
Illustration 16: Biopsie après 1 mois de cicatrisation alvéolaire où l'on observe du tissu conjonctif immature - Tombelli et coll (43).....	33
Illustration 17: Biopsie après 3 semaines de cicatrisation alvéolaire où l'on observe le tissu de granulation - Trombelli et coll (43).....	33
Illustration 18: Biopsie après trois mois de cicatrisation alvéolaire où l'on observe de l'os spongieux et lamellaire dans une matrice non minéralisée - Trombelli et coll (43).....	33
Illustration 19: Biopsie après un mois et demie de cicatrisation alvéolaire où l'on observe des trabécules d'os spongieux immature - Trombelli et coll (43).....	33
Illustration 20: Schéma du cycle du remodelage osseux (50).....	36
Illustration 21: différenciation et activation de l'ostéoclaste (64)	40
Illustration 22: Adhésion de l'ostéoclaste à la matrice osseuse et la résorption (69).....	41
Illustration 23: Panoramique montrant la croissance du sinus maxillaire droit suite à l'avulsion de dents secteur 1 (97).....	47
Illustration 24: Panoramique montrant la résorption alvéolaire mandibulaire suite à l'avulsion des dents (97).....	48
Illustration 25: alvéolyse horizontale avec sa dépression vestibulaire observée au CBCT (97).....	49
Illustration 26: Classification des défauts osseux selon Seibert.....	50
Illustration 27: Les 5 stades de résorption d'une incisive mandibulaire selon Atwood (81)	51
Illustration 28 trait de séparation de racines d'une molaire maxillaire (114).....	57
Illustration 29 trait de séparation de racines d'une molaire mandibulaire (114).....	57
Illustration 30: Séparation de racines d'une molaire mandibulaire (111).....	58

Illustration 31: périotome	58
Illustration 32: périotome automatisé Exosafe® (117).....	59
Illustration 33: cas clinique: avulsion des racines de 16 à l'aide d'un périotome Powertome®. En post- opératoire, on remarque la conservation des papilles et du tissu osseux (114).....	60
Illustration 34: une pince Physic Forcep (124).....	61
Illustration 35: Avulsion d'une 14 à l'aide d'une pince à la physique puis d'un davier (125)	61
Illustration 36: Benex extractor ® (132).....	62
Illustration 37: Utilisation du Benex extractor® lors d'une avulsion atraumatique d'une canine maxillaire droite (129).....	63
Illustration 38: Différents types d'inserts utilisée pour la syndesmotomie (141).....	66
Illustration 39: Rétro alvéolaire montrant une fracture de l'incisive latérale supérieur gauche 22.....	67
Illustration 40: Avulsion d'une incisive centrale maxillaire grâce à la piézo-chirurgie puis implantation immédiate (143).....	67
Illustration 41: Graphique comparant la différence du niveau de la gencive avant et après extraction traditionnelle/ avec Forcep Physic (146).....	71
Illustration 42: Graphique comparant la différence du niveau osseux avant et après extraction traditionnelle/ avec Forcep Physic (146)	71
Illustration 43: Forces appliquées lors d'une extraction avec un système d'avulsion verticale (axiale)(149).....	72
Illustration 44: forces appliquées lors d'une extraction traditionnelle (axiale et latérale) (149).....	72

Table des tableaux

Tableau 1: Tableau sur la classification de Lekholm et Zarb associée à la classification de Norton en fonction du site anatomique.....	27
Tableau 2: Proportion des différents tissus dans l'alvéole aux différents intervalles (39).....	29
Tableau 3: Les différentes étapes de cicatrisation d'une alvéole post-extractionnelle selon Amler (42).....	30
Tableau 4: tableau comparatif des différentes techniques d'avulsions dentaires.....	75

Les techniques d'avulsions atraumatiques utilisées en chirurgie pré-implantaire.

PLANCKE Florence - p. 90 : ill. 44 ; réf. 152

Domaines : Implantologie ; chirurgie buccale

Mots clés Rameau: Tissu osseux ; dents-extraction-technique

Mots clés FmeSH: Os et tissu osseux ; alvéole dentaire ; résorption alvéolaire ; extraction dentaire-méthodes

Résumé de la thèse

De nos jours, la thérapeutique implantaire apparaît comme la technique la plus adaptée au remplacement d'un édentement unitaire ou plural. Cependant, la principale contre-indication à cette thérapeutique est le défaut quantitatif et qualitatif de l'os alvéolaire. Or, dès l'extraction dentaire, il survient un remaniement osseux accompagné d'une résorption osseuse. Cliniquement, cette alvéolyse apparaît aussi bien dans le sens vertical qu'horizontal et rend le succès implantaire esthétique et fonctionnel incertain. La connaissance de l'architecture osseuse des maxillaires, ainsi que de ces événements post-extractionnels, imposent donc au chirurgien dentiste de la rigueur et de la délicatesse dans le protocole d'extraction dentaire.

L'approche atraumatique de l'avulsion est donc impérative en situation pré-implantaire et s'appuie sur une série de principes et techniques destinés à préserver l'alvéole, ainsi que l'ensemble des structures avoisinant le site d'extraction.

JURY :

Président : **Monsieur le Professeur Guillaume Penel**

Assesseurs : **Monsieur le Docteur François Boschin**

Madame le Docteur Cécile Olejnik

Monsieur le Docteur Gilbert Nafash