

Recherche de paramètres de prédictibilité de la maintenance osseuse mandibulaire sur une population de patients dentés

Chalom Jérémy Hassan

▶ **To cite this version:**

Chalom Jérémy Hassan. Recherche de paramètres de prédictibilité de la maintenance osseuse mandibulaire sur une population de patients dentés. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-03295811

HAL Id: dumas-03295811

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03295811

Submitted on 22 Jul 2021

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives| 4.0 International License

UNIVERSITE PARIS DIDEROT - PARIS 7

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE
5, Rue Garancière 75006 PARIS

Année 2019 Thèse N°:

N° attribué par la bibliothèque :

THESE pour le DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR

en CHIRURGIE DENTAIRE

présentée et soutenue publiquement le 02/04/2019

par **HASSAN Chalom Jeremy**

RECHERCHE DE PARAMETRES DE PREDICTIBILITE DE LA MAINTENANCE OSSEUSE MANDIBULAIRE SUR UNE POPULATION DE PATIENTS DENTES

Directeur de thèse : Dr Jean Raphaël NEFUSSI

J U R Y

Mme la Professeure BERDAL Ariane	Président
M. le Docteur AZEVEDO Christophe	Assesseur
Mme la Professeure DE LA DURE-MOLLA Muriel	Assesseur
M. le Docteur GARREC Pascal	Assesseur
Mme la Docteure HOUARI-MEJRI Sophia	Assesseur
Mme la Docteure PRADELLE Nelly	Assesseur
Mme la Docteure SORIA Paola	Assesseur
M. le Docteur NEFUSSI Jean Raphaël	Membre invité

U N I V E R S I T E P A R I S D I D E R O T – P A R I S 7

Présidente de l'Université :	Mme la Professeure Christine CLERICI
Doyenne de l'U.F.R. d'Odontologie :	Mme la Professeure Ariane BERDAL
Directrice Générale des Services :	Madame Pascale SAINT-CYR

J U R Y

Mme la Professeure Ariane BERDAL	Président
M. le Docteur AZEVEDO Christophe	Assesseur
Mme la Professeure DE LA DURE-MOLLA Muriel	Assesseur
M. le Docteur GARREC Pascal	Assesseur
Mme la Docteure HOUARI-MEJRI Sophia	Assesseur
Mme la Docteure PRADELLE Nelly	Assesseur
Mme la Docteure SORIA Paola	Assesseur
M. le Docteur NEFUSSI Jean Raphaël	Membre invité

Mme la Professeure Ariane BERDAL

Docteur en Chirurgie Dentaire
Diplôme de Doctorat
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites d'être à la présidence de ce jury, veuillez recevoir ici toute ma gratitude, mon estime et ma considération.

M. le Docteur Christophe AZEVEDO

Docteur en Chirurgie Dentaire
Diplôme de Doctorat
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites de siéger au sein de ce jury, veuillez trouver ici le témoignage de mon profond respect et de ma respectueuse considération.

Mme la Professeure Muriel de la DURE MOLLA

Docteur en Chirurgie Dentaire
Diplôme de Doctorat
Habilitation à Diriger des Recherches
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites de siéger au sein de ce jury, veuillez trouver ici l'expression de ma gratitude et de mon plus grand respect.

M. le Docteur Pascal GARREC

Docteur en Chirurgie Dentaire
Diplôme de Doctorat
Maître de Conférences des Universités-Praticien Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites de siéger au sein de ce jury, veuillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements.

Mme la Docteure Sophia HOUARI

Docteur en Chirurgie Dentaire
Maître de Conférences des Universités-Praticien Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites en participant au jury de cette thèse, veuillez recevoir ici toute ma gratitude, mon estime et ma considération.

Mme la Docteure Nelly PRADELLE

Docteur en Chirurgie Dentaire
Diplôme de Doctorat
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites en acceptant de siéger à cette thèse, veuillez trouver ici l'expression de mes remerciements les plus sincères.

Mme la Docteure Paola SORIA

Docteur en Chirurgie Dentaire
Assistante Hospitalo-Universitaire

Pour l'honneur que vous me faites de siéger au sein de ce jury, veuillez trouver ici l'expression de ma gratitude et de mon plus grand respect.

M. le Docteur Jean Raphaël NEFUSSI

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur en Sciences Odontologiques
Diplôme d'État en Odontologie
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites d'être présent aujourd'hui mais également d'avoir dirigé cette thèse. Je tiens à vous remercier pour tout l'investissement fourni tout au long de ce travail. Je vous suis très reconnaissant pour le temps accordé, vos qualités pédagogiques, et votre gentillesse. J'ai beaucoup appris à vos côtés et j'aimerais vous adresser toute ma gratitude pour cela.

Je tiens également à remercier mes confrères qui ont participé à la réalisation de cette thèse :

Dr R. TOURNEMELLE, Dr L. CORCOS, Dr K. PANERO, Dr R. BLANCO, Dr J. FARAH, et le Dr H. MARTINEZ merci pour votre aide précieuse et votre disponibilité.

J-L. ZADIKIAN pour nous avoir soutenu et ouvert vos portes.

Enfin, R. PEREZ, notre informaticien, qui a été plus que disponible et à l'écoute de nos sollicitations permanentes. Merci pour tout !

Table des matières

INTRODUCTION 3

1. PRESENTATION DU SUJET D'ETUDE : LITTERATURE ET MAINTENANCE OSSEUSE 4

1.1. LE SQUELETTE DENTO-ALVEOLAIRE 4
1.1.1. Les différents types de squelettes : axial, appendiculaire et crânio-facial 4
1.1.2. Spécificités du squelette dento-alvéolaire 7
1.1.3. Expérimentation animale : Notion de couplage dent-os par A.R TEN CATE et C. MILLS (Ten Cate et Mills 1972) 8
1.1.4. Aspect génétique du couplage dent-os alvéolaire : identification des facteurs de signalisation 8
1.2. ANALYSE CLINIQUE 11
1.2.1. Recherche de paramètres de prédictibilité de la maintenance osseuse mandibulaire 11
1.2.2. Analyse des résultats d'une étude 2D 13
1.2.3. Conséquences de la présence de paramètres de prédictibilité 14
1.2.4. L'examen CBCT 15
1.2.5. Intérêt d'une étude 3D 15

2. MATERIELS ET METHODES 17

2.1. REGLEMENTATION ET COLLECTE DES DONNEES 17
2.2. MATERIELS 17
2.2.1. Critères d'exclusion 18
2.2.2. Appareils de radiographie 19
2.2.3. Algorithme de mesure et logiciel statistique 20
2.3. DETERMINATION DE LA REGION D'INTERET 20
2.3.1. Secteur prémolaire-molaire mandibulaire 20
2.3.2. Repères anatomiques 20
2.4. REALISATION DES COUPES 21
2.4.1. Étape 1 : Acquisition d'une coupe panoramique 21
2.4.2. Étape 2 : Réalisation des coupes vestibulo-linguales 21
2.5. PROTOCOLE DE TRAITEMENT DES COUPES 24
2.5.1. Usage d'un algorithme 24
2.5.2. Détermination des variables morphométriques 27
2.5.3. Uniformisation des données 29
2.6. REPRODUCTIBILITE INTER-OPERATEURS (JEREMY, HAIM, DAVID) 30

3. RESULTATS ET DISCUSSION 31

3.1. ANALYSE DE LA REPRODUCTIBILITE INTER-OPERATEURS (DAVID, HAIM, JEREMY) 31
3.2. ANALYSE DES RESULTATS 32
3.2.1. Analyse des différentes variables testées 32
3.2.2. Détection des mesures aberrantes 32
3.2.3. Analyse de la symétrie droite-gauche des différentes variables 33
3.2.4. Interférence de l'âge et du sexe sur le rapport MC/BC 34
3.2.5. Analyse de la prédictibilité de la maintenance osseuse 35
3.3. ANALYSE DE LA SYMETRIE DES FORAMEN 41
3.4. INTERPRETATION DES RESULTATS 43
3.5. BIAIS DE L'ETUDE ET CRITIQUES DU PROTOCOLE 45
3.5.1. Détermination de la région d'intérêt 45
3.5.2. Choix de l'axe de symétrie 46
3.5.3. Détermination des hauteurs et de l'épaisseur des corticales 46
3.5.4. Biais de sélection 48

3.5.5. L'outil CBCT 48
3.5.6. Appareils d'acquisition radiographiques différents 49
3.5.7. Amélioration du protocole 49
3.5.8. Élimination des mesures aberrantes 49
3.6. CONSEQUENCES CLINIQUES 50
CONCLUSION 51
ANNEXES 52
TABLE DES ILLUSTRATIONS 57
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 58

Introduction

« L'os alvéolaire nait et disparaît avec la dent. » Cette affirmation est reconnue et enseignée depuis plus de 50 ans (Ten Cate et Mills 1972). Ce paradigme influence notre pratique dentaire au quotidien. A une époque où la mise en place d'implant est routinière, la prise en charge des patients lors d'une avulsion est trop souvent systématisée. On fait alors appel à des techniques d'augmentation du volume osseux et l'on voit de plus en plus de méthodes chirurgicales et d'outils se développer dans ce sens. En effet, il n'y a pour le moment aucun consensus permettant d'anticiper la perte osseuse qui suit une extraction. Si on pouvait l'estimer, alors chaque patient bénéficierait d'une prise en charge individuelle.

C'est dans ce contexte qu'en 2015 Berdugo a entrepris une étude sur radiographies panoramiques afin de rechercher des paramètres de prédictibilité de la maintenance osseuse mandibulaire. Ce travail a donné des résultats prometteurs, et encourage vivement la recherche scientifique dans cette voie.

Nous nous proposons de faire une nouvelle étude mais en utilisant des examens CBCT nous autorisant à prendre en considération de nouvelles variables liées au 3D et nous permettant d'aborder les questions suivantes :

- Est-il possible de mettre en évidence des paramètres morphométriques permettant de modéliser la maintenance osseuse ?
- Peut-on déterminer le potentiel biologique d'un patient et estimer la perte osseuse après une éventuelle avulsion dentaire ?
- La perte osseuse serait-elle prédéterminée génétiquement ?

Dans un premier temps, et à l'aide de la littérature scientifique nous exposerons les connaissances actuelles concernant la maintenance osseuse alvéolaire.

Dans un second temps, nous tenterons de répondre à ces questions à l'aide d'analyses des différentes mesures établies sur ces examens CBCT.

1. Présentation du sujet d'étude : littérature et maintenance osseuse

1.1. Le squelette dento-alvéolaire

1.1.1. Les différents types de squelettes : axial, appendiculaire et crânio-facial

Le squelette osseux est essentiel à l'homéostasie et au développement général. Il joue 5 fonctions essentielles : une fonction de soutien, de protection des organes vitaux et des cavités médullaires, il participe au mouvement, contribue à l'hématopoïèse, et au stockage des minéraux (calcium, phosphore, magnésium...).

Nous pouvons classiquement distinguer au sein du corps humain trois grands groupes de squelettes osseux : le squelette axial, appendiculaire, et crânio-facial (Liebgott 2011) (voir ***figure 1-1***).

Le squelette axial a pour rôle essentiel la protection des organes internes ; comprenant des os majoritairement impairs et médians. Il comprend la colonne vertébrale, les côtes, le sternum, ainsi que les os du larynx.

Le squelette appendiculaire, beaucoup plus mobile, a pour rôle essentiel la locomotion, et la manipulation d'objets environnants, comprenant des os majoritairement pairs et latéraux. Il comprend les ceintures scapulaires et pelviennes, et les os des membres supérieurs et inférieurs.

Le squelette crânio-facial a pour rôle essentiel la protection de l'encéphale et les organes sensoriels (le neurocrâne). Il comprend les os formant le crâne, et le massif facial.

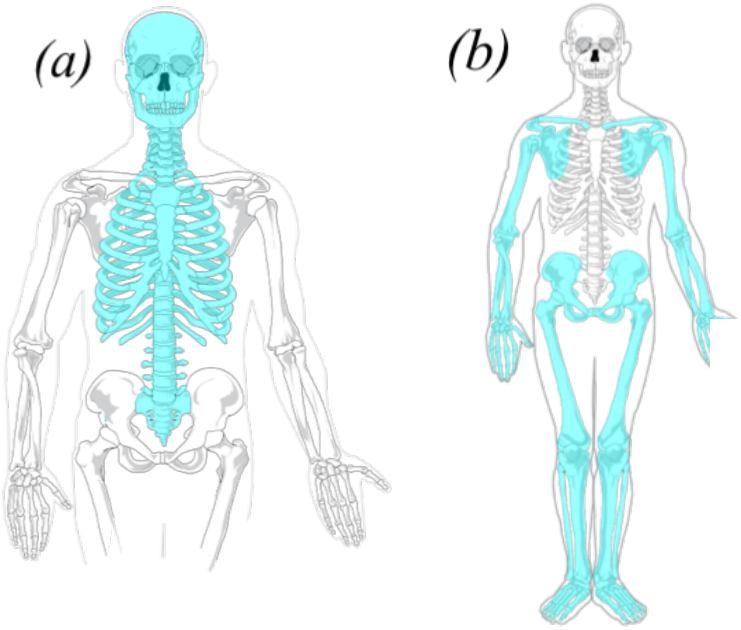


Figure 1-1 : Illustrations des différents squelettes.
(a) schéma représentant les squelettes axial et crânio-facial
(b) schéma représentant le squelette appendiculaire
Source : commons.wikipedia.org

Au niveau structurel, nous pouvons distinguer deux types de tissus osseux :

- l'os cortical, qui joue le rôle d'enveloppe et confère à l'os sa résistance ;
- l'os spongieux ou trabéculaire, moins résistant que l'os cortical, il est majoritairement présent dans la partie centrale de l'os, il forme un réseau de travées osseuses anastomosées.

La différence entre l'os cortical et trabéculaire est structurelle et fonctionnelle bien qu'à l'échelle cellulaire et matricielle leurs constitutions soient similaires. Au niveau structurel, la différence est d'ordre quantitatif et réside dans une différence de densité osseuse qui est de l'ordre de 80 à 90% pour l'os cortical et 20 à 25% pour l'os trabéculaire. La structure restante est occupée par les espaces médullaires. De cette différence structurelle découle la différence fonctionnelle. De par la faible densité osseuse du tissu trabéculaire, il existe en son sein une grande surface d'échange avec les espaces médullaires, tandis que l'os cortical possède une faible surface d'échange au niveau périosté. Les surfaces endostées corticales et trabéculaires assurent 75 à 80% des échanges biologiques alors que ces échanges ne sont que de 20 à 25% au niveau des surfaces périostées. Ainsi, l'os cortical assure principalement un rôle mécanique et est garant d'une morphologie par sa surface périostée, alors que celui dévolu à l'os trabéculaire sera davantage métabolique (Nefussi 2018).

Le squelette crânio-facial se différencie essentiellement du squelette axial et appendiculaire de par son origine embryologique. En effet, il dérive préférentiellement de cellules ectodermiques : les cellules des crêtes neurales ; par opposition aux squelettes appendiculaire et axial dérivants des cellules des mésodermes intermédiaire, latéral et somitique (voir ***figure 1-2***). Cette différence d'origine embryologique se traduit par des cascades d'activation géniques différentes. La formation du massif crânio-faciale est déterminée par les gènes non-Hox ou encore paraHox ; contrairement aux squelettes appendiculaire et axial dont la morphologie est déterminée par les gènes Hox (Isaac et Coll. 2018; Ramanathan et Coll. 2018).

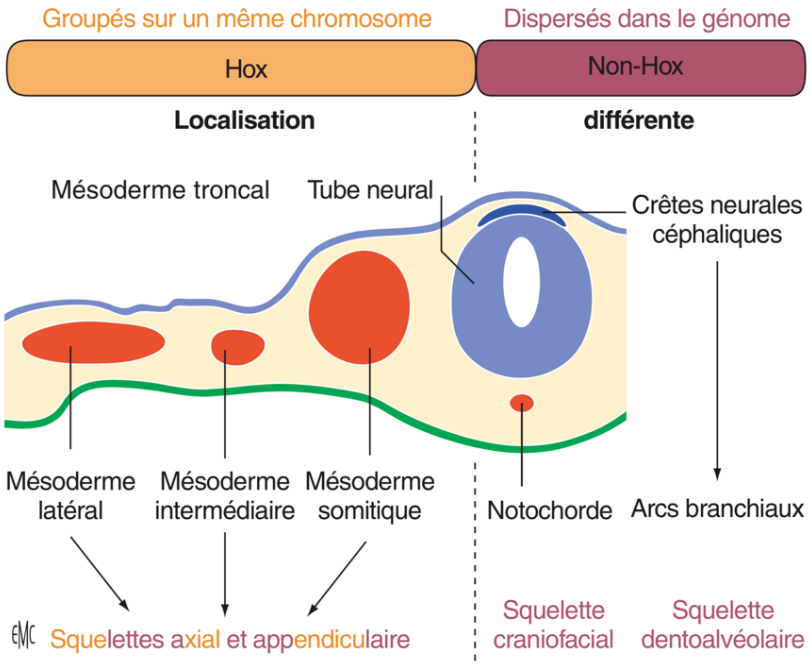


Figure 1-2 : Les différentes condensations cellulaires à l'origine des squelettes appendiculaire, axial, crânio-facial et dento-alvéolaire sont déterminées par une cascade de molécules de signalisation et de facteurs de transcription spécifiques de chaque squelette. (Nefussi 2011)

L'os alvéolaire est reconnu par certains auteurs comme un exosquelette (Smith et Hall 1990; Stock 2001). Nefussi (2018), dans l'ouvrage « L'implantologie chirurgicale et prothétique : la pratique au quotidien » adhère à cette théorie et reconnait un quatrième squelette : le squelette dento-alvéolaire (SDA). Ce dernier est nommé ainsi afin de bien le différencier du squelette crânio-facial et lui donner une identité propre. Il doit être considéré comme *indépendant* du squelette crânio-facial mais, histologiquement, rien ne permet de les distinguer (voir ***figure 1-3***). Cependant, plusieurs processus embryologiques justifient cette distinction et pourraient expliquer certaines caractéristiques physiologiques et très spécifiques du SDA par rapport au squelette crânio-facial (Nefussi 2011, 2018).

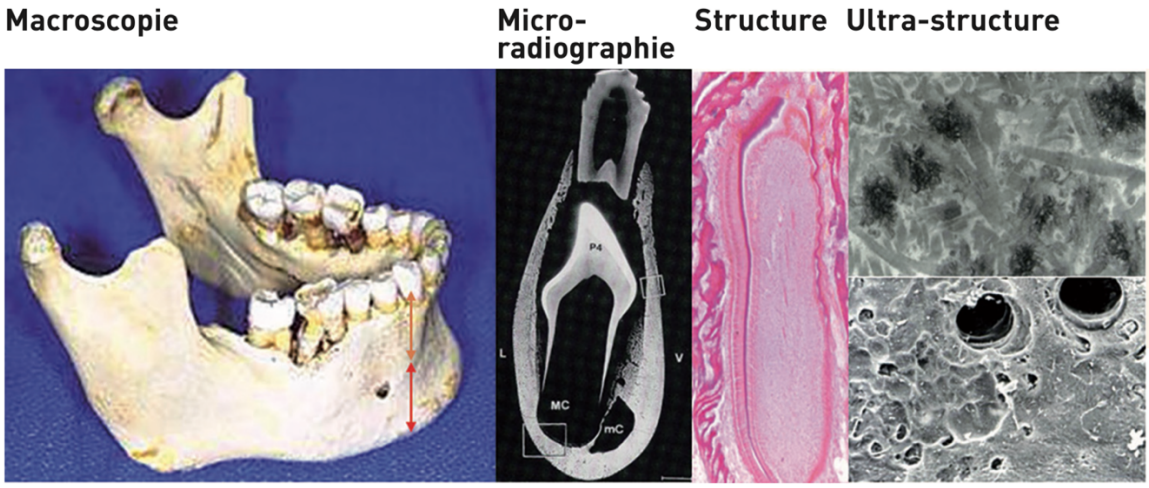


Figure 1-3 : Aucune étude macroscopique, micro-radiographique ou examen histologique à l'échelon structural ou ultra-structural ne peut permettre de différencier le squelette dento-alvéolaire du squelette crânio-facial. (Nefussi 2018)

1.1.2. Spécificités du squelette dento-alvéolaire

Contrairement à l'os maxillaire et mandibulaire du squelette crânio-facial, le SDA va avoir comme centres régionaux de croissance les germes dentaires en développement. Les tissus osseux du maxillaire et de la mandibule supportant les organes dentaires sont appelés les procès alvéolaires ou tables osseuses et forment le squelette dento-alvéolaire (SDA). Il se démarque des squelettes précédents par sa croissance dépendante des phénomènes de dentition : les procès alvéolaires se développent avec l'éruption et la mise en place fonctionnelle des dents et du desmodonte. L'os alvéolaire diminue avant la chute des dents temporaires puis augmente rapidement avec l'apparition des dents définitives (Aknin 2008).

Au niveau anatomique, le SDA est également constitué d'une corticale externe, ainsi que d'os spongieux interne. La corticale externe est prolongée par la corticale de l'os basale (mandibulaire ou maxillaire). Les tables osseuses alvéolaires sont creusées de cavités appelées alvéoles dentaires où se logent les racines dentaires (voir ***figure 1-4***). Enfin, les racines seront maintenues à distance des parois alvéolaires par un espace richement vascularisé, innervé et avec de nombreux faisceaux de fibres assurant le maintien de la dent dans son alvéole.

En constant remaniement, comme le reste du tissu osseux, le SDA est sollicité par les contraintes dentaires, permettant le maintien d'un capital osseux alvéolaire. Ainsi s'installe une relation de dépendance entre l'os et la dent où le maintien de l'os est conditionné par la présence de l'organe dentaire et sa mise en fonction. Par conséquent, la perte de la fonction dentaire entraine une perte osseuse ; de même la perte de l'organe dentaire entraine une résorption irréversible de l'os alvéolaire (Berkovitz et Coll. 2009).

Cette modification volumétrique osseuse suite à une extraction dentaire est unique et très spécifique à ce SDA. Aucun autre squelette ne change de morphologie anatomique suite à un traumatisme, si on assimile une extraction dentaire à un traumatisme. Le tissu osseux alvéolaire, constitue donc une entité osseuse particulière car elle est la seule unité squelettique capable de changer aussi drastiquement de volume avec le temps (Berkovitz et Coll. 2009).

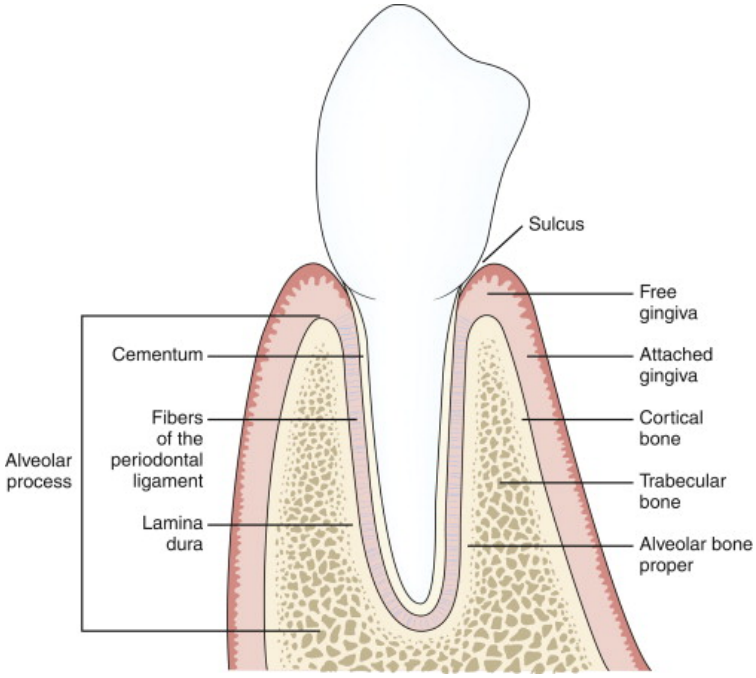


Figure 1-4 : Schéma du squelette dento-alvéolaire
(Burr DB et Coll, 2013)

1.1.3. Expérimentation animale : Notion de couplage dent-os par A.R TEN CATE et C. MILLS (Ten Cate et Mills 1972)

Après une première expérimentation animale, les chercheurs A. R. TEN CATE et C. MILLS ont montré le rôle du follicule dentaire dans le développement du parodonte par implantation de germes dentaires au stade de cloche en sous cutané chez des adultes jeunes de la même espèce. Les souris sont ensuite sacrifiées 3 à 4 semaines après transplantation et les greffes sont récupérées et analysées. Outre le développement des germes avec la formation d'email, de dentine, de cément, d'un ligament parodontal, il est noté la présence « *d'une coque osseuse environnante »*. Ceci confirme alors l'hypothèse selon laquelle l'origine du tissu osseux formé autour du germe dentaire est induite par le germe dentaire transplanté.

Le couplage entre l'organe dentaire et le squelette dento-alvéolaire est mis en évidence pour la première fois.

1.1.4. Aspect génétique du couplage dent-os alvéolaire : identification des facteurs de signalisation

L'odontogenèse se traduit par la morphogenèse de couronnes et de racines spécifiques à chaque type de dents, ainsi que le desmodonte et l'os alvéolaire associés. Comme le développement embryonnaire en général, l'odontogenèse est sous contrôle génétique strict. Les

gènes qui la régulent sont très nombreux. C'est un processus dynamique, contrôlé par des interactions épithélio-mésenchymateuses entre l'ectoderme du premier arc branchial et des cellules ecto-mésenchymateuses sous-jacentes originaires des crêtes neurales céphaliques (Thesleff 1995; Peters et Balling 1999).

De nombreux gènes participant à l'odontogenèse sont retrouvés durant l'ostéogenèse. Ceux sont particulièrement Msx-1 et Msx-2, la famille des Dlx (Dlx-1/2, Dlx-5/6), et Runx2. La famille des Dlx régule le schéma squelettique au sein de la mâchoire. Msx-1 et Msx-2 occupent un rôle important dans la morphogenèse et la croissance des structures crânio-facial. Runx2 active l'expression du collagène de type I, de sialoprotéine osseuse, d'ostéocalcine, et d'ostéopontine : c'est le *gène maitre du tissu osseux*, il est responsable de la formation du support osseux des organes dentaires (Simon et Coll. 2014; Nefussi 2018; Matalová et Coll. 2015).

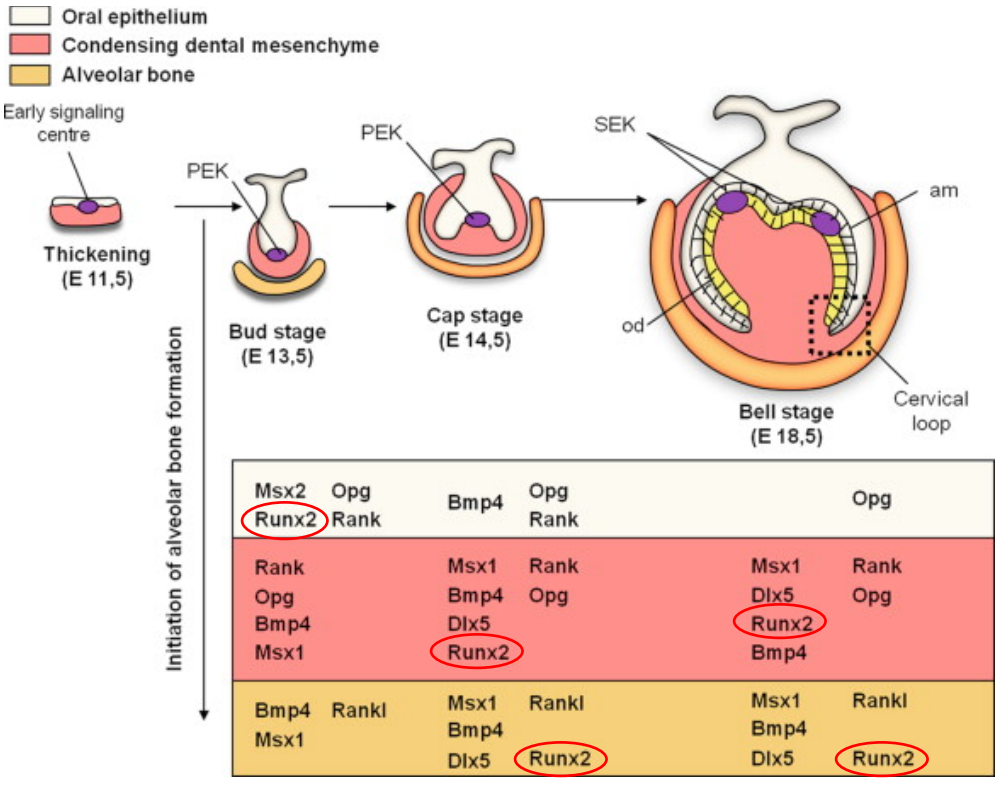


Figure 1-5 : Illustration du complexe de développement dento-alvéolaire.
La formation de l'os alvéolaire est réalisée par la signalisation moléculaire et par les contraintes mécaniques. Les molécules clés permettant l'intégration du germe dentaire avec l'os environnant sont présentées au sein de l'épithélium (couleur crème), du mésenchyme (rouge), et de l'os (orange). (Matalová et Coll. 2015)

Par ailleurs, les expériences génétiques ont montré que lors d'une déficience ou d'une inhibition de Runx2, Dlx 5-6, et/ou Msx1 l'os alvéolaire est anormal ou absent. De même, une déficience de Msx-2 affecte l'ensemble du squelette crânio-facial. Également, l'application d'un inhibiteur de BMP4 entraine une absence de formation osseuse. Les expériences de sauvetage ont révélé que Msx1 agit en amont de BMP4 pour activer la différenciation ostéoblastique via les gènes Runx2 et Dlx5 (Nassif et Coll. 2014; Matalová et Coll.2015).

Suite à de très nombreuses recherches dans ce domaine, une théorie s'est imposée concernant l'identité dentaire : celle de l'homéocode odontogénique développée en 1995 par P. Sharpe (Sharpe 1995). Un homéocode est une combinatoire d'homéogènes qui définit la position et l'identité de la dent. Étant donné que chaque organe dentaire a une identité qui lui est spécifique (incisive, canine, prémolaire et molaire), il a été retenu qu'un homéocode dentaire précis définira cette identité et aboutira aux différentes morphologies des dents constituant l'arcade. Ceci se traduit par un contrôle des gradients de concentration de facteurs de croissance tels que BMP et FGF de l'ectoderme oral. D'autre part, de nombreuses études montrent le lien étroit entre ostéogenèse et odontogenèse au niveau génétique (Matalová, et Coll. 2015).

Or, l'organe dentaire est un ensemble de tissus spécifiques composé de la dent, d'un espace desmodontal, d'un support osseux et d'une gencive. Ces tissus se forment de façon conjointe dans l'espace et dans le temps en répondant à une combinatoire de gènes bien précise. En fait, il serait plus juste de reconnaître un homéocode non seulement dentaire mais également un homéocode desmodontal, un homéocode osseux et un homéocode gingival spécifique de chaque organe dentaire. En effet, l'ensemble de ces tissus (dent, desmodonte, os et gencive) forment un continuum biologique tissulaire du fait qu'ils sont interdépendants tant dans leur physiologie (toute extrusion et réimplantation dentaire sans la présence de cellules vitales desmodontales se traduisent par une résorption radiculaire) que dans leur provenance d'une combinatoire d'homéogènes spécifique commune. Ce continuum biologique tissulaire forme une entité dénommée « Entité Fonctionnelle Odontologique » (EFO) présentant une combinatoire génétique spécifique avec l'expression d'un homéocode desmo-dento-alvéolo-gingival (Nefussi 2000, 2018).

1.2. Analyse clinique

1.2.1. Recherche de paramètres de prédictibilité de la maintenance osseuse mandibulaire

Comme expliqué précédemment, l'EFO est dépendante de la signalisation de l'organe dentaire dans sa genèse. Toute avulsion dentaire serait donc accompagnée de la disparition de ses éléments constitutifs. Cliniquement, l'avulsion dentaire entraine la disparition des limites de l'espace desmodontal, un réaménagement des contours gingivaux ainsi qu'une perte osseuse. Cette perte osseuse a une variabilité inter et intra individuelle dépendante de nombreux paramètres. En 2003, Schropp et al. montrent qu'une perte en épaisseur est systématiquement observée mais qu'elle ne s'accompagne pas toujours d'une perte en hauteur (Schropp et Coll. 2003). Il est donc concevable que l'épaisseur et la hauteur de la table osseuse n'aient pas les mêmes mécanismes de maintenance : l'épaisseur semble directement liée à la présence de la dent tandis que la hauteur pourrait dépendre d'autres facteurs.

Il en découle que les individus ne sont pas tous concernés par ce couplage dent-os de la même manière. Certaines personnes vont avoir un couplage important et donc une perte osseuse importante suite à une avulsion dentaire. D'autres, vont être très peu concernées par ce couplage et vont perdre peu d'os (voir ***figure 1-6***).

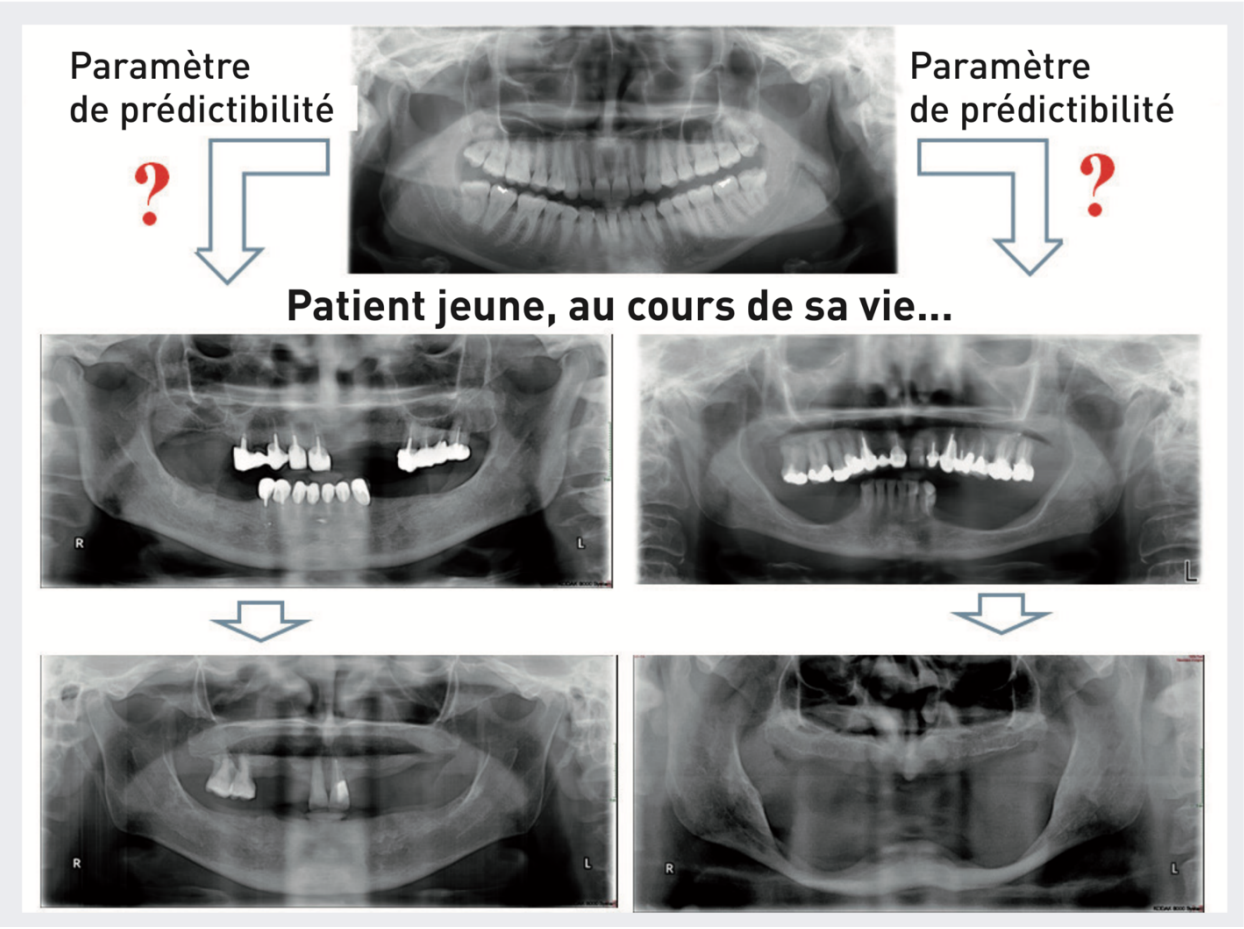


Figure 1-6 : Toute extraction dentaire ne s'accompagne pas systématiquement d'une perte osseuse. Dans le futur, des paramètres de prédictibilité devraient permettre au praticien de définir ce risque de perte osseuse avant même l'acte d'extraction dentaire (Nefussi 2018).

En 2015, sous la direction de Dr Nefussi, Mr Berdugo Alexis a soutenu une thèse d'exercice intitulée : « Étude sur la prédictibilité de la résorption osseuse alvéolaire après extraction dentaire ». Elle consiste en l'analyse histomorphométrique de radiographies panoramiques afin d'étudier la variabilité de la perte de la hauteur osseuse après avulsion dentaire. Il souhaitait déterminer des paramètres de prédictibilité individuelle de cette perte osseuse. L'hypothèse émise était que la composante génétique déterminant les EFO joue un rôle essentiel dans la maintenance osseuse. L'étude se limitait au secteur prémolaire-molaire et utilisait un échantillon de 150 sujets subdivisés en trois groupes : 50 patients dentés complets, 50 patients édentés complets et 50 patients présentant un édentement unilatéral.

Les objectifs de cette étude étaient les suivants :

- vérifier par des mesures histomorphométriques dans une population donnée si des avulsions dentaires entrainent systématiquement une perte osseuse ;
- déterminer la proportion de patients dans une population donnée qui s'inscrivent dans le couplage dent-os, ce dernier se traduisant lui-même par une perte de la hauteur de la table osseuse après avulsion ;
- tenter d'établir, selon des critères anatomiques, la prédictibilité de perte osseuse d'une personne avant même une extraction dentaire.

1.2.2. Analyse des résultats d'une étude 2D

Cette étude (Berdugo 2015) a infirmé le mythe selon lequel toutes les extractions dentaires se traduisaient par une perte osseuse alvéolaire. Les résultats ont permis d'acquérir les connaissances suivantes sur le SDA mandibulaire :

- La détermination d'un rapport de référence constant os alvéolaire/hauteur mandibulaire de 70% d'os alvéolaire au niveau prémolaire-molaire (PM-M) et de 60% au niveau du foramen mentonnier pour les sujets dentés quels que soient leur âge et leur sexe. *Ceci nous permet ainsi d'évaluer la perte osseuse d'un sujet en l'absence de tout élément radiologique antérieur.*
- Certains paramètres mesurables étaient corrélés à la hauteur osseuse alvéolaire et donc pouvaient servir de paramètres de prédictibilité de la résorption osseuse alvéolaire avant toute extraction dentaire. Ce résultat a été vérifié et confirmé par l'étude sur des sujets édentés unilatéralement.

1.2.3. Conséquences de la présence de paramètres de prédictibilité

Cliniquement, Nefussi identifie trois types de « biotypes osseux alvéolaire » : sensible, moyen, ou résistant. Ils sont définis par l'ensemble des facteurs génétiques déterminant localement la maintenance osseuse alvéolaire. Chaque individu présenterait alors une labilité osseuse prédéterminée par son profil génétique. Les patients aux biotypes osseux sensibles s'opposent aux patients aux biotypes résistants (Nefussi 2015).

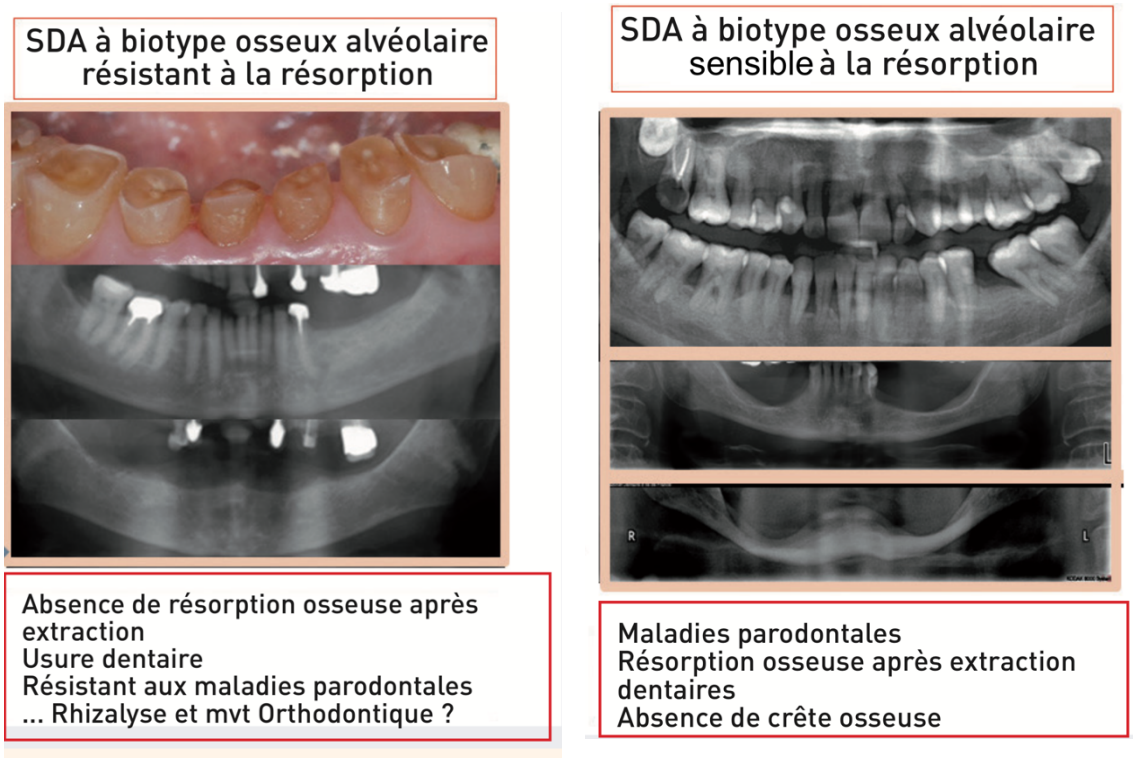


Figure 1-7 : Illustration des biotypes osseux résistant et sensible (Nefussi 2018).

Nous pouvons conclure de cette étude 2D que suite à des avulsions dentaires, la perte osseuse semble se comporter comme une variable quantifiable et corrélée à des paramètres mesurables. Toutefois, l'échantillon était trop limité pour réussir à mettre en place un modèle de prédictibilité de maintenance osseuse à partir de ces corrélations. De plus, la radiographie panoramique ne permet d'apprécier que la hauteur osseuse. C'est pourquoi il était pertinent de poursuivre ce travail de recherche en utilisant de l'imagerie 3D, ainsi qu'un échantillon de sujets plus important. En effet, l'imagerie 3D permettra de mesurer de nombreux paramètres additionnels et facilitera la détermination de variables hypothétiquement responsables de l'anatomie de ces EFOs et donc du SDA mandibulaire.

1.2.4. L’examen CBCT

Le CBCT ou tomographie volumique à faisceau conique est une adaptation du scanner clinique classique (ou MSCT pour MultiSlice Computed Tomography). Il permet d’obtenir des reconstitutions en 3D des tissus durs minéralisés, à savoir l’os et les dents. Le système de détection est un capteur plan permettant d'optimiser le faisceau incident conique. Les déformations géométriques liées au capteur plan sont corrigées par un algorithme (Feldkamp, Davis, et Kress 1984). Il est reconnu mondialement comme le moyen sectionnel de référence en imagerie diagnostique odonto-maxillo-faciale. La résolution spatiale du CBCT est submillimétrique et certains constructeurs permettent, par rétro-reconstruction, d'amener la résolution à 80 µm (Cavézian et Pasquet 2011). Sa fiabilité et sa résolution spatiale ne sont donc pas inférieures à celles du scanner pour l'exploration des tissus minéralisés, en revanche il ne permet pas la mesure des densités.

Le CBCT a un temps d'exposition légèrement moins long que le MSCT. La dose qu'il délivre est ainsi 2 fois moins importante que celle délivrée par le scanner pour un volume d’exploration large. Il reste tout de même significativement plus élevé que celle exploitée en radiologie conventionnelle. En effet, les doses sont environ 15 fois supérieures à l'examen panoramique (Deman et Coll. 2014). De plus, les doses peuvent varier selon l'appareil CBCT, le volume exploré et les paramètres sélectionnés. Elles sont d'autant moins élevées que les champs explorés et les paramètres choisis sont réduits.

1.2.5. Intérêt d’une étude 3D

L’objectif de cette étude en 3D est d’acquérir de nouvelles connaissances concernant les facteurs qui régulent la maintenance du squelette dento-alvéolaire (SDA) au cours de la vie et de déduire par le biais de la morphométrie un rôle génétique dans cette maintenance.

Cette étude en 3D est réalisée sur une cohorte de patients plus importante, et permettra une investigation plus approfondie des résultats déjà acquis en 2D. Sa finalité serait de permettre une approche clinique différente se traduisant par *l’individualisation du soin lors d’une éventuelle extraction en anticipant la perte osseuse.*

Cette étude est effectuée sur des patients totalement dentés et fait partie d’une étude plus large comportant deux autres études qui seront réalisées sur des patients édentés unilatéralement et bilatéralement. La démarche scientifique consiste en la recherche de corrélations entre la hauteur du SDA et d’autres paramètres caractéristiques de l’os mandibulaire chez des sujets dentés, afin de tester ces paramètres comme facteurs de prédictibilité.

Additionnellement, les foramen mentonniers sont souvent utilisés dans la littérature comme repères anatomiques. Cependant, à notre connaissance, leur fiabilité n'a jamais été démontrée. Les foramen sont-ils symétriques à droite et à gauche ? Existe-t-il un repère dentaire constant permettant de les localiser ? En conséquence, peuvent-ils être utilisés comme repères anatomiques fiables ? Les réponses à ces questions sont nécessaires afin de mettre en place un protocole précis dans les études suivantes.

2. Matériels et méthodes

2.1. Réglementation et collecte des données

Une autorisation de la CNIL a été demandée et accordée sous le numéro *2090142V0*. Une quantité considérable d'examens ont été récupérés et analysés. Ces derniers ont été directement anonymisés mais conservent les données relatives à l'âge, au sexe du patient, ainsi que les métadonnés intrinsèques aux examens (résolution, tailles des pixels…).
(Voir **annexe 1** pour document de la CNIL).

2.2. Matériels

Le nombre de CBCT nécessaire à l'étude est déterminé par un test d'analyse de puissance. Ce dernier est indispensable à l'acquisition de résultats significatifs et évalue, dans notre cas, la nécessité d'un minimum de 100 CBCT.

Rappelons que cette étude s'intègre au sein d'une plus vaste étude. L'objectif ici est d'établir à l'aide des sujets dentés des paramètres de corrélation entre la hauteur du SDA et d'autres paramètres caractéristiques de l'os mandibulaire. Ces paramètres seront ensuite testés comme paramètres de prédictibilité de la perte osseuse sur une cohorte de patients ayant subi des avulsions dentaires.

Une étude rétrospective a donc été réalisée sur 104 CBCT récupérés du service d'odontologie du centre hospitalier de Rothschild et de cabinets privés équipés de CBCT entre mars 2018 et octobre 2018. Les examens CBCT inclus au sein de l'étude proviennent d'hommes et de femmes totalement dentés indemnes de pathologie osseuse ou parodontale. La moyenne d'âge des 104 patients est de 36 ans allant de 14 à 86 ans. On dénombre 48 hommes (46,6%) et 55 femmes (53,4%) (voir ***figure 2-1***).

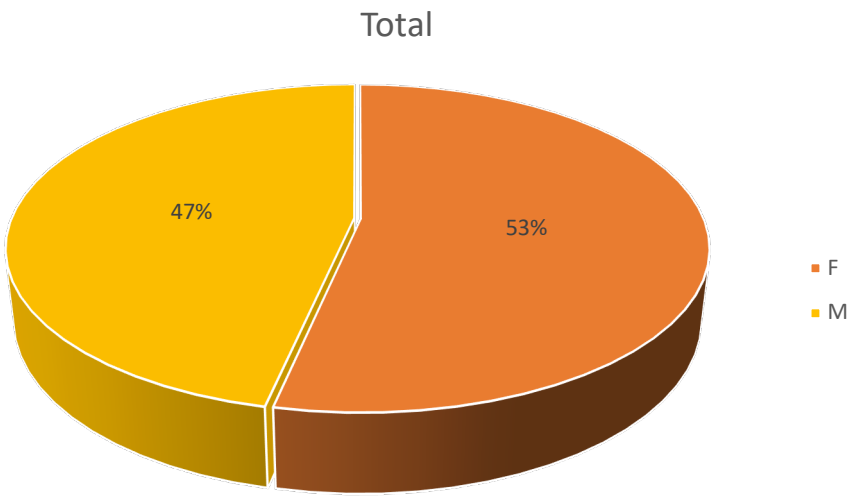


Figure 2-1 : Diagramme représentant la proportion homme/femme au sein de l'étude

2.2.1. Critères d'exclusion

2.2.1.1. Présence d'artefacts importants

Les examens CBCT présentant des artefacts importants empêchant une bonne lecture des repères anatomiques nécessaires sont exclus. D'autre part, les examens sur lesquels le nerf alvéolaire inferieur ne peut être repéré de façon précise sont également rejetés, de par l'importance de ce repère pour l'étude.

2.2.1.2. Présence de lésions apicales

La limite apicale est la partie terminale de la racine dentaire la séparant des tissus avoisinants. Les examens présentant des lésions apicales sont exclus car la définition de la limite apicale devient moins précise et donc moins reproductible. De plus, d'éventuelles résorptions apicales peuvent avoir lieu. Dans un souci de précision et de rigueur, ces examens ont également été exclus de l'étude.

2.2.1.3. Présence de cémentomes

La présence de cémentomes rend également la limite apicale moins précise et donc moins reproductible. Par ailleurs, il y a une altération du tissu osseux pour laisser place aux cémentomes. Pour cela, ces examens sont exclus de l'étude.

2.2.1.4. Problèmes parodontaux

Une absence de pathologie osseuse et de problèmes parodontaux est nécessaire pour les patients inclus au sein de l'étude. En effet, cette étude a pour objectif d'être utilisée en tant que référentiel caractérisant les critères de maintenance osseuse. L'objectif est de mettre en place des rapports et des mesures « témoins » nous permettant par la suite de les évaluer comme paramètres de prédictibilité dans les études concernant les édentés unilatéraux et bilatéraux.

2.2.1.5. Malpositions dentaires et asymétrie

Les patients avec une malposition dentaire importante empêchant une analyse précise des différentes structures sont exclus.

De même, une asymétrie de position dentaire trop importante empêchant une comparaison droite-gauche est exclue de l'étude.

2.2.1.6. Volume exploré insuffisant

L'intégralité de l'os mandibulaire et des organes dentaires doit apparaître au sein de l'examen 3D. De ce fait, tout examen incomplet est exclu de l'étude (absence du bord basal, absence de la couronne dentaire…)

2.2.2. Appareils de radiographie

Les examens de la base de données des patients dentés proviennent de deux appareils de radiographie différents. La première machine provient du centre hospitalier de Rothschild, et la deuxième provient d'un cabinet privé.

Au sein du cabinet privé, l'appareil utilisé est le CS 8100 3D de Carestream Dental. Le volume d'exploration des examens est variable. Certains n'intéressent que la région mandibulaire, d'autres comprennent également le maxillaire. La résolution de l'appareil est de *150 µm par voxel*.

Au sein du centre hospitalier de Rothschild, l'appareil est le ProMax 3D Max de Planmeca. Le volume d'exploration des examens est également variable. La résolution de l'appareil est de *200 µm par voxel.*

Les clichés sont examinés dans les trois dimensions de l'espace (plan sagittal, transversal et frontal) à l'aide d'un programme spécifique : *Planmeca Romexis® Viewer*. Cet

outil gratuit permet l'analyse d'image médicale et prend en charge les modes d'imagerie 2D et 3D. C'est également à l'aide de ce programme que les coupes ont été réalisées.

2.2.3. Algorithme de mesure et logiciel statistique

Afin de réaliser les mesures sur les différentes coupes, un algorithme, spécialement conçu pour cette étude par un informaticien, est utilisé. L'algorithme a été développé pour être utilisé avec le logiciel Fiji. C'est un logiciel open-source de traitement d'image intégrant des outils facilitant l'analyse d'image scientifique (Schindelin et Coll. 2012).

De plus, le logiciel de statistique utilisé afin de réaliser les analyses de l'étude est « NCSS (NCSS Statistical Software) ».

2.3. Détermination de la région d'intérêt

2.3.1. Secteur prémolaire-molaire mandibulaire

L'étude se limite au secteur prémolaire-molaire mandibulaire. La région d'intérêt se limitera donc aux dents 35-36 et 45-46.

2.3.2. Repères anatomiques

2.3.2.1. Épine symphysaire

La détermination d'un axe de symétrie fiable et reproductible est indispensable pour les études qui suivront. L'épine symphysaire est un repère osseux reproductible et stable dans le temps, contrairement à la médiane dentaire qui peut varier de manière importante. L'épine symphysaire sera donc utilisée comme repère afin de définir la position des coupes des secteurs édentés des études qui suivront.

2.3.2.2. Foramen mentonniers

La position des foramen mentonniers est repérée et comparée d'une part à l'axe de symétrie (épine symphysaire) (Smajilagić et Dilberović 2004) et d'autre part au niveau de sa position relative par rapport aux dents. Longtemps accepté dans la littérature comme étant entre la première et deuxième prémolaire, cette donnée ne semble pas être juste si ce n'est que refléter une moyenne (Santini et Alayan 2012; Currie et Coll. 2016). Certaines études l'utilisent malgré

tout comme repère anatomique afin de repérer la position des dents manquantes au niveau de secteurs édentés. Par soucis de rigueur la fiabilité de ce repère anatomique est donc testée.

Cette étude sert de référentiel et de support pour les études suivantes. La fiabilité des repères anatomiques qui seront potentiellement utilisés est donc indispensable.

2.3.2.3. Nerf alvéolaire inférieur

La position du nerf alvéolaire inférieur (NAI) constitue un repère anatomique fréquemment utilisé dans les études qui traitent des problématiques mandibulaires. De plus, il semble être un repère intéressant pour évaluer la limite entre os basal et os alvéolaire. Sa position est donc importante car elle peut potentiellement être en corrélation avec les paramètres de prédictibilité de perte osseuse. (Braut et Coll. 2014; Bressan et Coll. 2017; Nemtoi et Coll., 2014.; Watanabe et al. 2010; Zhang, Tullis, et Weltman 2014)

2.4. Réalisation des coupes

2.4.1. Étape 1 : Acquisition d'une coupe panoramique

Après avoir sélectionné le CBCT, les coupes sont effectuées grâce au logiciel Planmeca Romexis® Viewer.

Dans la section « panoramique » :

L'acquisition de la coupe panoramique se fait manuellement en suivant l'arcade dentaire. Il est possible de réorienter l'ensemble dans l'axe sagittal afin d'obtenir une région postérieure plus ou moins verticale et de définir une « plage de données » plus restreinte en masquant éventuellement le maxillaire quand il est présent.

2.4.2. Étape 2 : Réalisation des coupes vestibulo-linguales

Dans la section « implant » :

1) L'axe médian passant par l'épine symphysaire est défini avec l'outil « mesurer longueur » (afin d'effectuer un trait rouge vertical). Il faut prendre soin de bien allonger le repère en le descendant au plus bas de la coupe panoramique (nécessaire pour le bon fonctionnement de l'algorithme par la suite).
2) Les foramens mentonniers sont également repérés avec le même outil.

3) Les NAI sont ensuite tracés avec l'outil correspondant en suivant les différentes sections.
4) Paramétrage des coupes vestibulo-linguales :
    a. Régler les épaisseurs de coupes à 1 mm,
    b. Régler l'espacement des coupes à 2 mm,
    c. Régler la largeur de coupes de façon à faire apparaître l'ensemble de la table osseuse,
    d. Supprimer l'apparition des lignes axiale et panoramique sur les coupes,
    e. Supprimer l'apparition de la réglette sur les coupes.
5) Les coupes sont capturées à l'aide de l'outil « Quickshot » successivement du secteur 4 vers le secteur 3 en respectant l'ordre mésial à distal. L'ordre de la capture des coupes est donc la racine de la 45, l'espace interdentaire 46-45, puis la racine mésiale de la 46. La même chose est réalisée au niveau du secteur 3.
6) Des repères passant par les racines des 5 et de l'espace inter-radiculaires des 6 sont ajoutés dans les secteurs 3 et 4.
7) Une capture de la coupe panoramique est ensuite réalisée.
8) Exporter les 7 images dans le dossier adéquat avec l'extension .png et les nommer.
   Les images se nomment par exemple pour un sujet donné « 1001 » : 1001_1 pour la 45 ; 1001_2 pour l'espace 45-46, etc. (voir ***figure 2-2***).

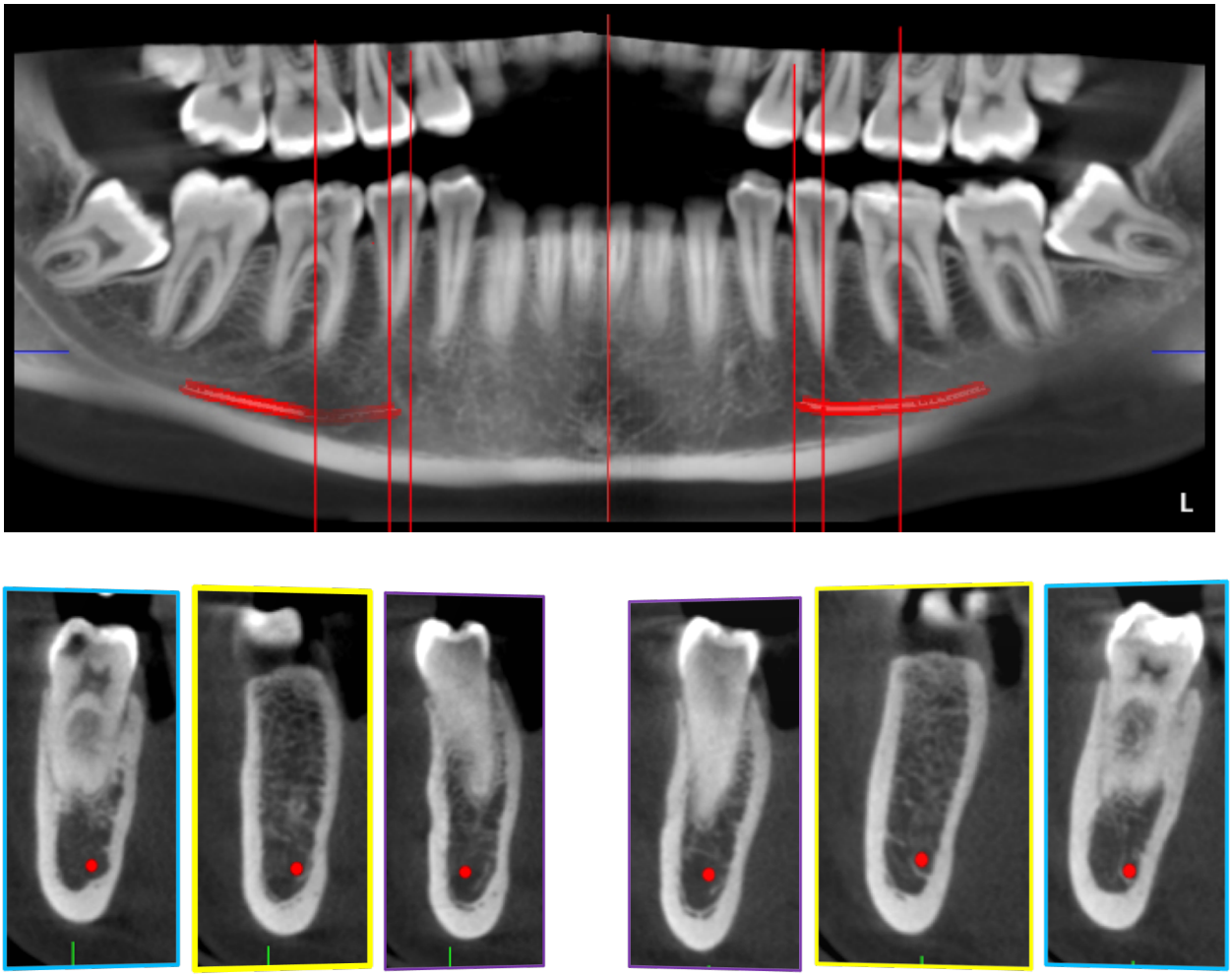


Figure 2-2 : Illustration des 7 images exportées

En haut : exemple d'une coupe de radio panoramique. Nous pouvons constater la présence des différents repères au niveau de la symphyse mentonnière, des foramen mentonniers, des deuxièmes prémolaires, et au niveau inter-radiculaires de la première molaire.

En bas : exemple d'une série de coupes au niveau d'une prémolaire, d'un secteur inter-dentaire, et d'une racine mésiale de 6 avant l'usage de l'algorithme (à gauche représentant le secteur 4 et à droite le secteur 3).

2.5. Protocole de traitement des coupes

2.5.1. Usage d'un algorithme

Une fois les coupes réalisées, il faut les analyser. Pour cela, un algorithme a été utilisé. Son rôle est d'automatiser le pointage *manuel* des différents points choisis au niveau des coupes. Leurs coordonnées géométriques (x, y) sont automatiquement enregistrées dans un tableur Excel. Le repère géométrique a pour origine (0, 0) le coin inférieur gauche de l'image.

Pour les coupes situées au niveau de la deuxième prémolaire et de la racine mésiale de la première molaire, ont été positionnés dans l'ordre :

- la limite supérieur de la couronne dentaire (point **Cr**),
- le niveau osseux crestal (point **C**),
- la limite apicale (point **P**),
- le nerf alvéolaire (point **M**),
- le niveau osseux basal (point **B**),
- les limites internes (point **VIap** au niveau vestibulaire et **LIap** au niveau lingual) et externes (point **VEap** au niveau vestibulaire et **LEap** au niveau lingual) de la corticale au niveau apical,
- les limites internes (point **VI** au niveau vestibulaire et **LI** au niveau lingual) et externes (point **VE** au niveau vestibulaire et **LE** au niveau lingual) de la corticale au niveau du NAI.

Pour les coupes situées au niveau interdentaire, ont été positionnés dans l'ordre :

- le niveau osseux crestal (point **C**),
- le nerf alvéolaire (point **M**),
- le niveau osseux basal (point **B**),
- Les limites internes et externes de la corticale au niveau du NAI.

Les bords osseux crestal et basal sont repérés afin de définir une hauteur.

Au niveau de l'apex dentaire et le NAI, les limites internes et externes de la corticale sont repérées afin de définir la largeur des tables osseuses et l'épaisseur des corticales à ces niveaux.

Concernant l'analyse de coupe panoramique, un simple clic dans le coin inférieur gauche de l'image suffit. L'algorithme va alors analyser la position des différents repères mis en place et leurs coordonnées géométriques.

A la fin des mesures, il en ressort pour chaque cas : 7 images originales, 7 images avec les traits de mesure et un tableur Excel (.csv) sur lequel figure les coordonnées des points enregistrés (voir ***figure 2-3***).

Les images avec les traits de mesure sont indispensables car elles permettent de valider ses propres pointages et d'effectuer une vérification inter-examinateur. Si un manque de précision d'un pointage est décelé, une correction peut être apportée.

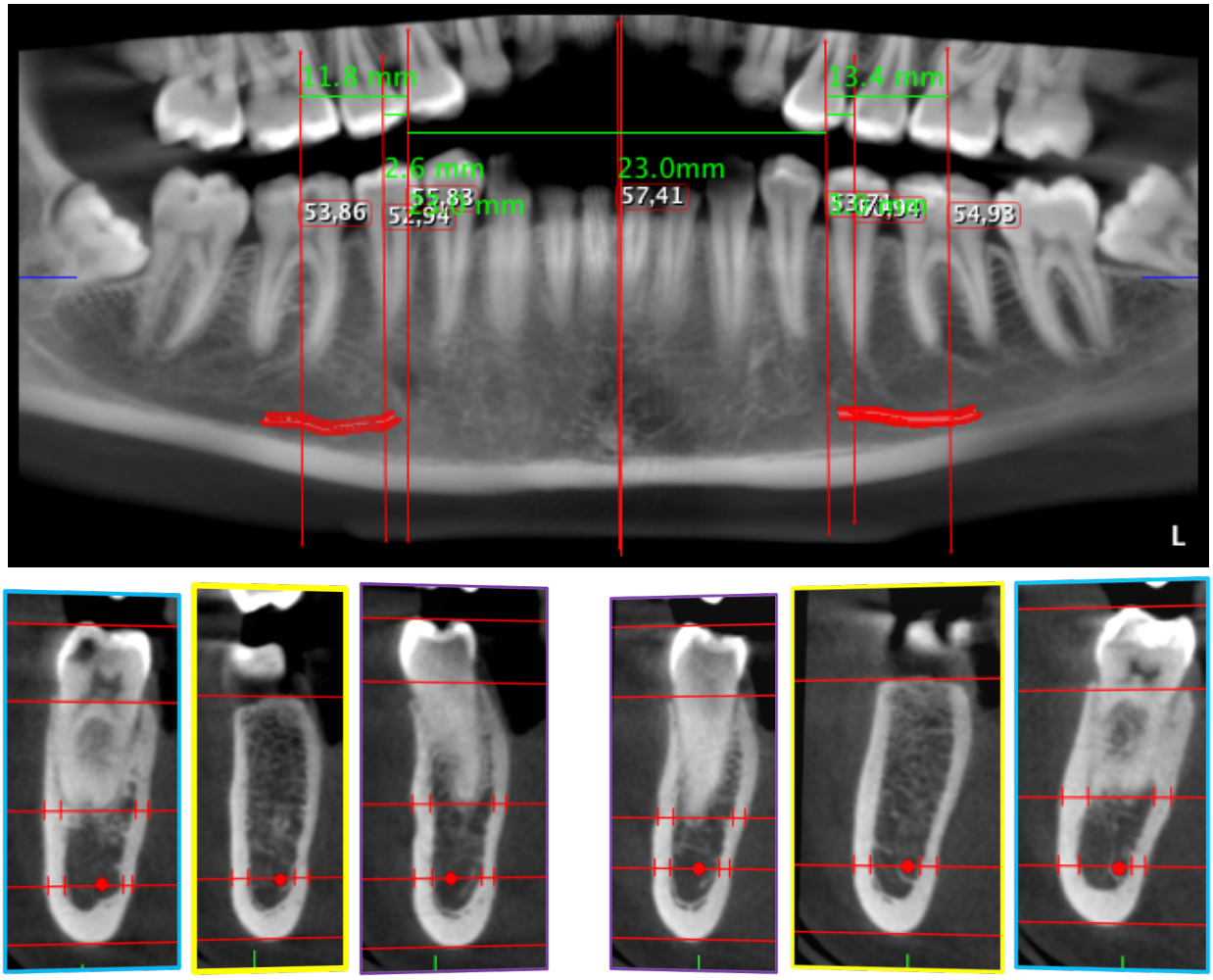


Figure 2-3 : Illustration des 7 images après usage de l'algorithme

En haut : exemple d'une coupe de radio panoramique après l'usage de l'algorithme.

En bas : exemple d'une série de coupes au niveau d'une prémolaire, d'un secteur inter-dentaire, et d'une racine mésiale de 6 après l'usage de l'algorithme (à gauche représentant le secteur 4 et à droite le secteur 3).

2.5.2. Détermination des variables morphométriques

En plus des variables des études 2D qui ont été reprises, de nouvelles y sont adjointes grâce au support en 3D.

Les différentes variables testées pour les tests statistiques sont :

- MB : cette variable représente la hauteur de l'os basal mandibulaire définie comme la distance entre le nerf alvéolaire et le bord basal mandibulaire.
- MC : cette variable représente la hauteur du squelette dento-alvéolaire. Bien que, comme cité plus haut, il soit histologiquement impossible de définir une limite au squelette alvéolaire. Par souci de simplification, cette distance est nommée hauteur du SDA.
- MP : cette variable représente la hauteur du nerf alvéolaire inférieur à l'apex de la racine dentaire.
- BC : cette variable représente la hauteur globale de l'os mandibulaire.
- BP : cette variable représente la distance entre le bord basal et l'apex de la racine dentaire.
- Largeur de la table osseuse externe (LaTaEx) : cette distance représente la largeur totale de la table osseuse au niveau du nerf alvéolaire (distance entre les points VE-LE joignant les deux corticales externes).
- Largeur de la table osseuse interne (LaTaIn) : cette distance représente la largeur entre les deux corticales internes au niveau du nerf alvéolaire (distance entre les points VI-LI). Ceci correspond à l'os trabéculaire.
- Épaisseur de la corticale vestibulaire au niveau du NAI (EpCoV) : cette distance représente l'épaisseur de la corticale vestibulaire au niveau du nerf alvéolaire inférieur.
- Épaisseur de la corticale linguale au niveau du NAI (EpCoL) : cette distance représente l'épaisseur de la corticale linguale au niveau du nerf alvéolaire inférieur.
- Position du NAI à la corticale vestibulaire externe (PoMVE) : cette variable représente la distance entre le nerf alvéolaire inférieur (M) et la corticale vestibulaire externe (VE).
- Position du NAI à la corticale linguale externe (PoMLE) : cette variable représente la distance entre le nerf alvéolaire inférieur (M) et la corticale linguale externe (LE).

- Position du NAI à la corticale vestibulaire interne (PoMVI) : cette variable représente la distance entre le nerf alvéolaire inférieur (M) et la corticale vestibulaire interne (VI).
- Position du NAI à la corticale linguale interne (PoMLI) : cette variable représente la distance entre le nerf alvéolaire inférieur (M) et la corticale linguale interne (LI).
- Épaisseur de la corticale vestibulaire au niveau de l'apex (EpCoVAp) : cette distance représente l'épaisseur de la corticale vestibulaire au niveau de l'apex (distance entre les points VEap et VIap).
- Épaisseur de la corticale linguale au niveau de l'apex (EpCoLAp) : cette distance représente l'épaisseur de la corticale linguale au niveau de l'apex (distance entre les points LEap et LIap).
- Largeur de la table osseuse externe au niveau de l'apex (LaTaExAp) : cette distance représente la largeur totale de la table osseuse au niveau de l'apex (distance entre les points VEap et LEap joignant les points vestibulaires des deux corticales externes).
- Largeur table osseuse interne apex (LaTaInAp) : cette distance entre les points VIap et LIap représente la largeur entre les deux corticales internes au niveau de l'apex. Ceci correspond à l'os trabéculaire.
- Rapport MC/BC : cette variable mesure le rapport entre le SDA et la hauteur de l'os mandibulaire.

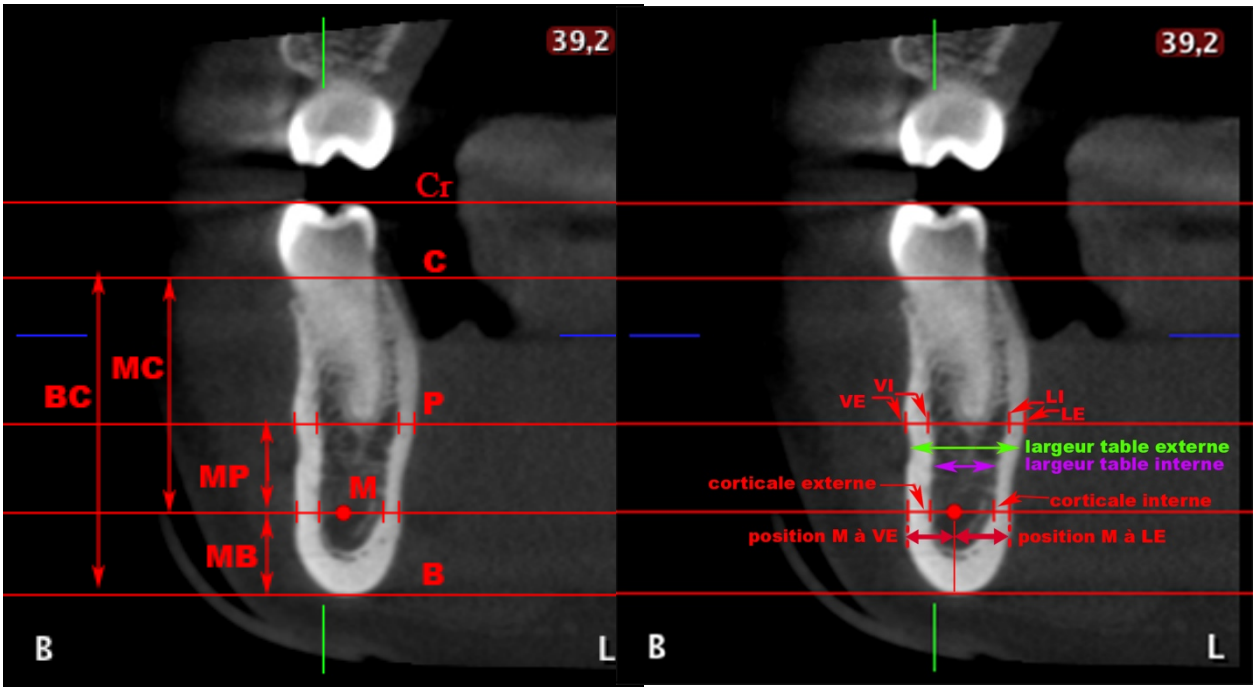


Figure 2-4 : Schéma illustrant les mesures utilisées

2.5.3. Uniformisation des données

Les différents examens CBCT proviennent de deux appareils de radiographie différents avec des résolutions différentes. Afin de pouvoir comparer les données relevées suite à l'analyse de ces examens, il est nécessaire d'uniformiser les résultats.

Initialement, toutes les données sont des coordonnées géométriques basées sur la résolution en pixel des coupes vestibulo-linguales et panoramiques. A chaque coupe sont associés des métadonnées lui fournissant sa résolution et son échelle (voir **annexe 5**).

Afin d'uniformiser les résultats, il a été décidé d'utiliser une unité de mesure commune : le millimètre. Pour ce faire, cette formule est appliquée :

$$Valeur_{(mm)} = \frac{résolution\ _{(\mu m/pixel)}}{1000}\ x\ Valeur_{(Pixel)}$$

- $Valeur_{(mm)}$ correspond à la valeur en millimètre.
- $Résolution_{(\mu m/pixel)}$ correspond à la résolution de l'image et donc de l'examen radiographique (ici 150 ou 200 en fonction de la machine utilisée).
- $Valeur_{(pixel)}$ correspond à la valeur en pixel mesurée sur la coupe.

Cette formule permet donc d'obtenir des coordonnées géométriques avec pour unité le millimètre. Afin de calculer les distances en millimètre il suffit d'appliquer la formule suivante :

$$AB = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}$$

2.6. Reproductibilité inter-opérateurs (Jeremy, Haim, David)

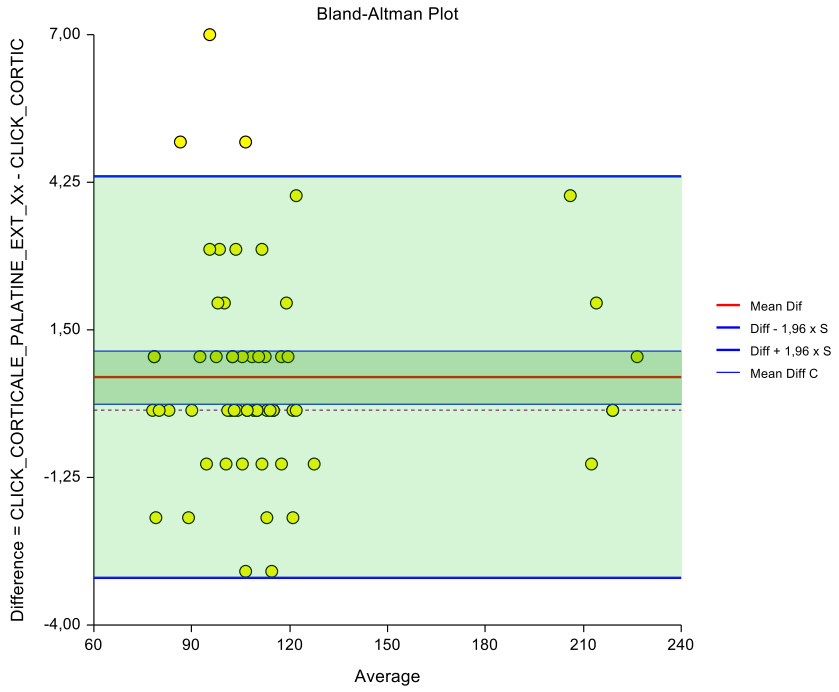
Trois opérateurs différents (David, Haim, et Jeremy) ont manipulé l'algorithme en simultané. Afin de s'assurer d'une reproductibilité inter-opérateurs dans l'usage de l'algorithme et le pointage des points, 10 examens CBCT différents ont été analysés alternativement par les trois opérateurs. Les résultats et le positionnement des points ont été comparés à l'aide d'un test de Brand-Altman qui permet de mesurer la variabilité inter-examinateurs.

3. Résultats et discussion

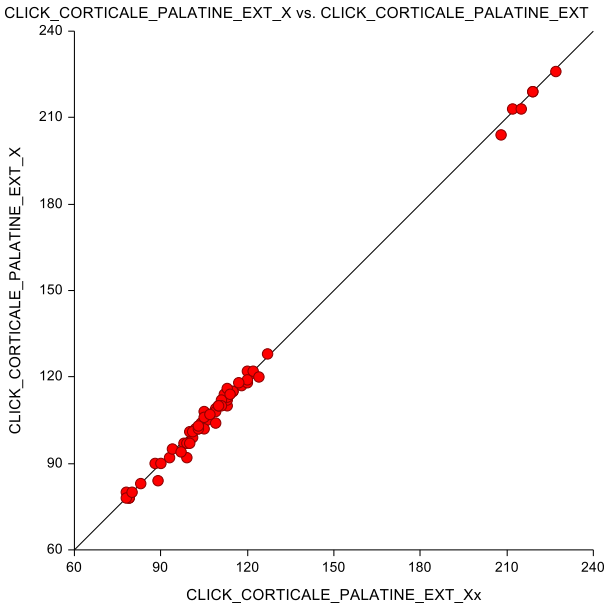
3.1. Analyse de la reproductibilité inter-opérateurs (David, Haim, Jeremy)

Pour tester la reproductibilité inter-opérateurs, un test de Brand-Altman a été réalisé. Il permet de mesurer la reproductibilité entre 2 opérateurs différents. 10 examens CBCT différents ont été analysés alternativement par les trois opérateurs où les résultats et le positionnement des points ont été comparés. Un écart maximum à un niveau de confiance de 95% est mis en place pour deux résultats obtenus sur un même échantillon avec une même méthode. Il a été ainsi déterminé un intervalle de confiance lié à la précision et à la reproductibilité des mesures. Le coefficient de corrélation inter-opérateurs obtenu est de **0,9986** : *ceci montre donc une bonne reproductibilité.*

De plus, toutes les coupes traitées ont été revérifiées visuellement par les trois opérateurs afin de contrôler la bonne position des points de manière unanime. Chaque coupe problématique ou douteuse a été remesurée et a subi de nouveau ces vérifications. Une triple vérification de chacune des coupes a ainsi été effectuée.



Graphique 3-1 : Graphique de Bland-Altman comparant la position des points mesurant la corticale linguale externe par les différents opérateurs



Graphique 3-2 : Graphique de corrélation comparant la position des points mesurant la corticale linguale externe par les différents opérateurs.

3.2. Analyse des résultats

3.2.1. Analyse des différentes variables testées

L'analyse des différentes variables est réalisée afin d'obtenir pour chacune d'elles les informations suivantes :

- le nombre de valeurs (nombre de fois où la variable a été mesurée) ;
- la moyenne ;
- l'écart-type ;
- la valeur maximale ;
- la valeur minimale ;
- l'écart (différence entre la valeur maximale et minimale).

L'analyse des variables est disponible à l'**annexe 2**.

3.2.2. Détection des mesures aberrantes

Des mesures aberrantes sont des valeurs sortant de la normalité ayant lieu dans quasiment toutes les recherches impliquant un recueil de données. Ceci est spécialement vrai dans les études observationnelles comme celle-ci, bien que les informations proviennent de

source fiable. Hawkin décrit les mesures aberrantes comme une observation qui dévie tellement des autres observations qu'elle est suspectée d'être générée par un mécanisme différent (Dan Dan et Ijeoma 2013). L'impact éventuel de leur suppression sera revu au sein de la discussion.

Afin de détecter ces mesures aberrantes le test réalisé est celui de Rosner. Ce test permet d'identifier jusqu'à 10 mesures aberrantes parmi les plus extrêmes (c.à.d. les plus éloignées de la moyenne de l'échantillon). Il est basé sur le calcul de la moyenne et de l'écart-type de l'échantillon auquel on a retiré toutes les mesures aberrantes suspectées, sauf la valeur testée. On commence par tester la valeur la moins extrême (c.à.d. la moins éloignée de la moyenne de l'échantillon, parmi les valeurs les plus éloignées), vers la valeur la plus extrême (c.à.d .la plus éloignée de la moyenne de l'échantillon).

Toutes les mesures ont été testées et des mesures aberrantes ont été trouvées sur les différentes variables.

3.2.3. Analyse de la symétrie droite-gauche des différentes variables

Une analyse de la symétrie des secteurs droit et gauche a été réalisée par un test t de Student en séries appariées sur **l'ensemble des variables** qui ont été définies dans le chapitre « Matériels et Méthodes ». Les résultats de ce test figurent dans l'**annexe 3** et montrent une très bonne symétrie entre les secteurs droit et gauche. Nous reproduisons ci-dessous le résultat acquis pour une autre et nouvelle variable MC/BC construite à partir des variables précédemment décrites et qui nous servira de mesure de la maintenance osseuse.

Variable	Nombre de mesures	Moyenne	Écart type	Significativité p pour $\alpha < 0,05$
MC/BC droit	277	0,68	0,07	
MC/BC gauche	277	0,68	0,05	
MC/BC droit - gauche	277	-0,01	0,04	Non significatif

Nous voyons que ce rapport est identique entre le secteur droit et gauche avec des écart-type très réduits. Le test t de Student en série appariée nous permet donc de confirmer l'existence d'une symétrie.

3.2.4. Interférence de l'âge et du sexe sur le rapport MC/BC

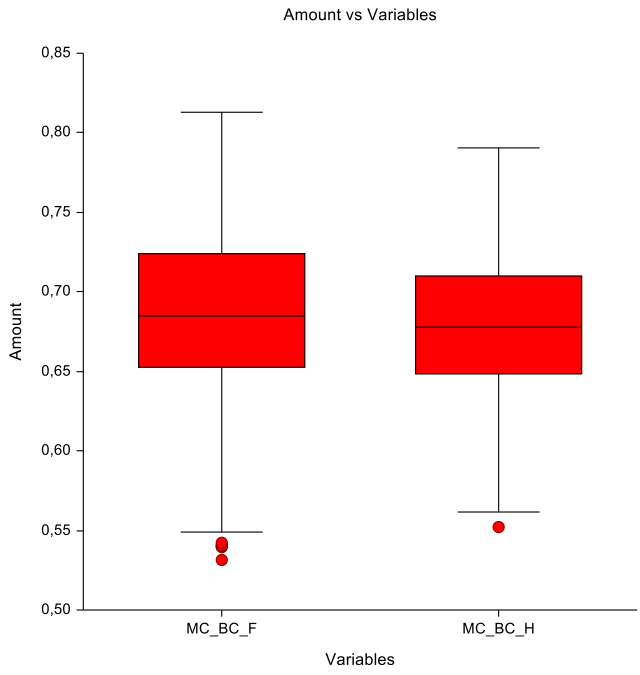
Afin de pouvoir analyser de façon globale le rapport MC/BC et de s'assurer que l'âge et le sexe n'interfèrent pas sur ce rapport, nous avons dans un premier temps comparé le rapport MC/BC Femme au rapport MC/BC Homme par un test t de Student en série non appariée. Dans un second temps, il a été effectué un test de corrélation entre le rapport MC/BC et la variable « âge ».

3.2.4.1. Impact du sexe sur le rapport MC/BC

Le test t de Student en série non appariée nous permet de conclure qu'il n'existe pas de différence significative entre homme et femme pour ce rapport MC/BC.

Variable	Nombre de valeurs	Moyenne	Écart type	Significativité *p* pour $\alpha < 0,05$
MC/BC femme	240	0,69	0,06	
MC/BC homme	216	0,68	0,05	
MC/BC femme - homme		0,01	0	Non Significatif

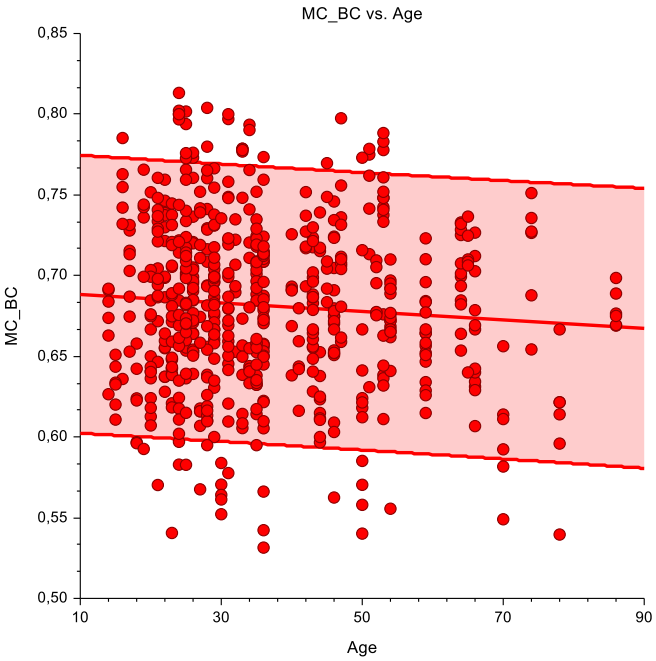
Nous pouvons donc conclure que le sexe n'influe pas sur le rapport MC/BC étudié et traiter de façon différenciée les mesures Femme et Homme dans les analyses statistiques suivantes.



Graphique 3-3 : Graphique représentant la différence MC/BC en fonction du sexe

3.2.4.2. Impact de l'âge sur le rapport MC/BC

Un test de corrélation entre la variable MC/BC et l'âge des sujets nous permet de confirmer qu'il n'existe pas de corrélation significative entre ces deux variables. Toutefois, nous pouvons constater une légère diminution du rapport MC/BC avec l'âge ce qui semble logique et normal (voir ***Graphique 3-4***).



Graphique 3-4 : Tableau de corrélation entre les variables MC/BC et âge des sujets.

3.2.5. Analyse de la prédictibilité de la maintenance osseuse

Dans un premier temps, il a été testé au sein de cette population de dentés, le modèle de prédictibilité obtenu à partir des paramètres mesurés sur les édentés unilatéraux. Celui-ci s'étant révélé insuffisant, une équation de la modélisation osseuse a donc été recherchée au sein de notre population.

3.2.5.1. Analyse de régression univariée des variables sur l'ensemble de la population

Une analyse de régression univariée permet de préciser la relation entre deux variables. Une matrice de corrélation reprend l'ensemble des variables testées une à une par rapport aux autres variables (cf. **annexe 4**). Le tableau montre pour chaque variable les éléments suivants :

- La première ligne de la matrice représente le coefficient de corrélation et mesure donc le lien entre 2 variables. Ce coefficient nommé R varie entre -1 et +1. Plus il est proche de ces extrémités plus la liaison est forte.

- La deuxième est la significativité de cette corrélation que l'on appelle « p ». On considère par convention qu'au-delà de p< 0,05, cette liaison est significative. Avec un p< 0,0000001 cette liaison est très hautement significative.
- La troisième ligne est le nombre de mesures testées.

La variable « MC/BC » est celle pour laquelle il est recherché un modèle de prédictibilité car elle représente le rapport du SDA sur la hauteur mandibulaire. Elle sera donc affectée par toute atteinte du SDA et reflètera la perte osseuse. La corrélation de cette variable a été relevée sur le ***tableau 3-1*** en éliminant les variables redondantes avec MC et BC (tel que le rapport MC/Largeur table externe, etc.). Les variables MP, MB, et BP sont considérées comme redondantes car elles se situent sur la hauteur mandibulaire. La corrélation de ces variables avec MC/BC est donc biaisée car elles se situent sur la même droite que MC et BC. Les variables corrélées de façon significative à « MC/BC » ont été surlignées en jaune. Ce sont celles qui seront retenues dans l'analyse multivariée.

	MC/BC
LaTaEx	-0,21
	0,00
	510,00
LaTaIn	-0,29
	0,00
	510,00
EpCoV	0,16
	0,00
	510,00
PoMVEx	0,31
	0,00
	510,00
PoMLE	-0,53
	0,00
	510,00
PoMVI	0,29
	0,00
	510,00
PoMLI	-0,57
	0,00
	510,00

MC_EpTaEx	0,45
	0,00
	510,00
MP_LaTaEx	0,35
	0,00
	340,00
MP_LaTaIn	0,41
	0,00
	340,00
MP_MB	0,68
	0,00
	340,00
MB_LaTaEx	-0,73
	0,00
	510,00
EpCoVApe	0,16
	0,00
	510,00

Tableau 3-1: Extrait de la colonne MC/BC du tableau de corrélation de l'analyse univariée

3.2.5.2. Analyse de régression multivariée sur l'ensemble de la population

Une analyse de régression univariée ne permet pas de prendre en compte les facteurs de confusion. Prenons un exemple : dans un échantillon où les femmes sont plus jeunes que les hommes. On veut savoir si le traitement a un effet différent sur la survie selon le sexe. Si on trouve un $p<0,05$, est-ce le fait du sexe ou le fait de l'âge ?

Une analyse multivariée consiste à tester de manière globale, et non unitairement, les différentes variables retenues, et permet d'établir un lien statistique entre plusieurs variables.
L'analyse de régression univariée a permis de sélectionner les variables indépendantes les plus corrélées, de façon significative, à celles que nous cherchons à prédire : MC/BC. Ensuite, elles sont testées dans une analyse multivariée pour établir une équation de prédictibilité de la maintenance osseuse observée sur les examens. La validité et la précision de prédictibilité de cette perte osseuse est mesurée par le coefficient de détermination R^2 et le MSE (Mean Square Error). R^2 est le rapport entre la variation expliquée par le modèle et la variation totale de la variable dépendante. R^2 est compris entre 0 et 1. Plus le R^2 s'approche de 1, meilleur est le modèle. Le MSE est la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne. Plus cette valeur est faible (proche de 0), meilleur est le modèle. Une équation de prédictibilité est alors établie et l'analyse de la valeur prédite est comparée à la valeur mesurée. Ainsi il est possible d'apprécier la validité et la fiabilité du modèle proposé.

Plusieurs méthodes sont à notre disposition. Deux ont été retenues, elles se ressemblent et mènent au même résultat : la méthode de toutes les régressions possibles (ou McHenry's Select Algorithm) et la méthode par régression sélective. Ces algorithmes ont pour but de chercher une combinatoire de variables fournissant un coefficient de détermination R^2 maximal dans la prédiction de la variable « MC/BC ».
Les variables retenues sont celles qui ont le plus de corrélation de façon significative à « MC/BC » (cf. variables surlignées en jaune sur le ***tableau 3-1***).

Le résultat nous donne les variables suivantes pour le meilleur modèle de prédictibilité possible :

1. Largeur table externe au niveau du nerf alvéolaire
2. Position M par rapport à la corticale linguale externe
3. Position M par rapport à la corticale vestibulaire interne
4. Position M par rapport à la corticale linguale interne

A partir de ce modèle, une équation va pouvoir être exprimée en pondérant les différentes variables intervenant dans le ***tableau 3-1***. Cette analyse multivariée nous montre donc que les variables « largeur table externe nerf », « position M à corticale linguale externe », « position M à corticale vestibulaire interne », « position M à la corticale linguale interne » sont des éléments fortement liés et corrélées de façon globale au rapport MC/BC.

3.2.5.3. Équation de modélisation de la maintenance osseuse sur l'ensemble de la population

L'équation de modélisation du rapport MC/BC prenant en compte l'ensemble de la population est :

MC/BC =

0,76827640842929 − (0,0479276583839526 * Position M à cort. linguale int.) + (0,00142670589126477 * Largeur table osseuse int. nerf * Position M à cort. linguale int.) − (0,00131571799601667 * Largeur table osseuse int. nerf * Position M à cort. vest. int.) + (0,00307305368250782 * Position M à cort. linguale int.* Position M à cort. vest. ext.)

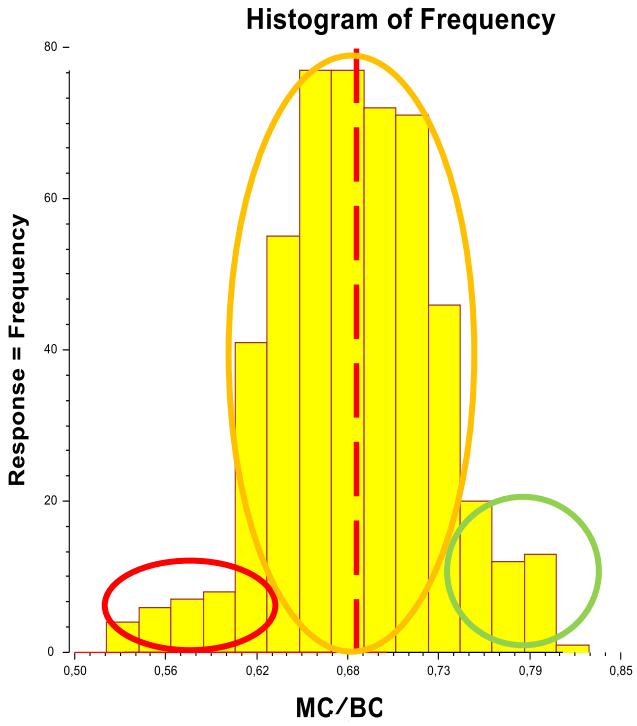
Le coefficient de détermination de cette équation est $R^2 = 0,35$ avec un MSE = 0,12.

Ainsi, en intégrant tous les sujets au sein de l'analyse uni- et multivariée, les résultats ne sont pas satisfaisants et ne permettent pas de prétendre à une prédictibilité de la maintenance osseuse.

La fenêtre des sujets étudiés a donc été réduite afin de former des groupes plus homogènes pouvant partager des variables communes. La démarche consiste à former trois groupes de sujets distincts en fonction du rapport MC/BC représentant le rapport de la hauteur de l'os alvéolaire avec la hauteur mandibulaire. La distribution de l'histogramme MC/BC nous permet de distinguer trois sous-groupes (voir ***Graphique 3-5***) :

- Un sous-groupe avec un rapport MC/BC < 0,60 (rouge)
- Un sous-groupe avec un rapport 0,60 < MC/BC < 0,74 (orange)
- Un sous-groupe avec un rapport MC/BC > 0,74 (vert)

L'étude uni- et multivariée n'a été concluante qu'au sein du groupe rouge.



Graphique 3-5: Histogramme représentant la répartition du rapport MC/BC en trois sous-groupes distincts.

3.2.5.4. Analyse univariée des variables pour MC/BC < 0,60

	MC/BC
Largeur table ext. nerf	-0,069101
	0,748334
	24
Largeur table int. nerf.	-0,215415
	0,312059
	24
Position M à cort. vest. ext.	0,114662
	0,593683
	24
Position M à cort. lingual ext.	-0,19293
	0,366403
	24
Position M à cort. vest. int.	0,152384
	0,477181
	24
Position M à cort. lingual int.	-0,324865
	0,121404
	24

Tableau 3-2 : Extrait de la colonne MC/BC du tableau de corrélation de l'analyse univariée pour MC/BC < 0,60.

Dans le cas ci-dessus, les variables retenues pour l'analyse multivariée sont illustrées au sein du ***tableau 3-2***.

3.2.5.5. Analyse multivariée pour MC/BC < 0,60

Le résultat de l'analyse multivariée nous donne les variables suivantes pour le meilleur modèle de prédictibilité possible :

1. Largeur table externe nerf
2. Largeur table interne nerf
3. Position M à la corticale linguale externe
4. Position M à la corticale linguale interne
5. Position M à la corticale vestibulaire interne

3.2.5.6. Équation de modélisation de la maintenance osseuse pour MC/BC < 0,60

L'équation de modélisation du rapport MC/BC pour les sujets avec un rapport MC/BC < 0,60 est :

MC/BC =

0,433219855923914 + (0,0150269017122247 * Position M à cort. linguale ext.) + (0,010250363931672 * Position M à cort. linguale ext.* Position M à cort. vest. int.) – (0,000121396687019653 * Largeur table ext. nerf.* Largeur table int. Nerf * Position M à cort. linguale ext. * Position M à vest. int.) + (7,62628395676511E-05 * Largeur table int. * Position M à cort. linguale ext.* Position M à cort. vest. ext * Position M à cort. vest. int.)

Le coefficient de détermination de cette équation est **$R^2 = 0,69$** avec un **MSE = 0,0001**.

A l'aide de cette équation, il serait possible d'identifier les patients (grâce aux mesures sur leurs examens CBCT) susceptibles de perdre un volume de tissu osseux important suite à des extractions dentaires. Remarquons cependant que cette équation de prédictibilité n'est vérifiée que pour 16 patients sur les 104 de la population étudiée. Pour pouvoir vérifier cette équation, il est indispensable de l'appliquer sur une cohorte plus importante de patients.

3.3. Analyse de la symétrie des foramen

L'objectif du report de la position des foramen au niveau de la coupe panoramique a pour but :

- d'analyser leur symétrie,
- d'analyser leurs positions relatives par rapport aux dents : il est vérifié si la position moyenne entre les deux prémolaires est confirmée.

Ces résultats sont indispensables pour les études sur les examens CBCT des édentés uni- et bilatéraux car nous cherchons à savoir s'il est possible de se fier à la position des foramen pour définir la position des coupes au niveau des secteurs édentés.

Dans un premier temps, les valeurs aberrantes ont été éliminées : seules 3 valeurs ont été considérées comme telles.

Dans un second temps, un test t d'équivalence en série appariée a été réalisé. Ce test est utilisé afin de valider l'équivalence (ici la symétrie) entre deux variables en séries appariées. La limite d'équivalence a été fixée à 0,5 mm compte tenu du test de reproductibilité et de la précision des mesures.

Les hypothèses nulles H_0 de notre test sont :

$H_{0,1}$: Position Foramen Droit – Position Foramen Gauche > 0,5

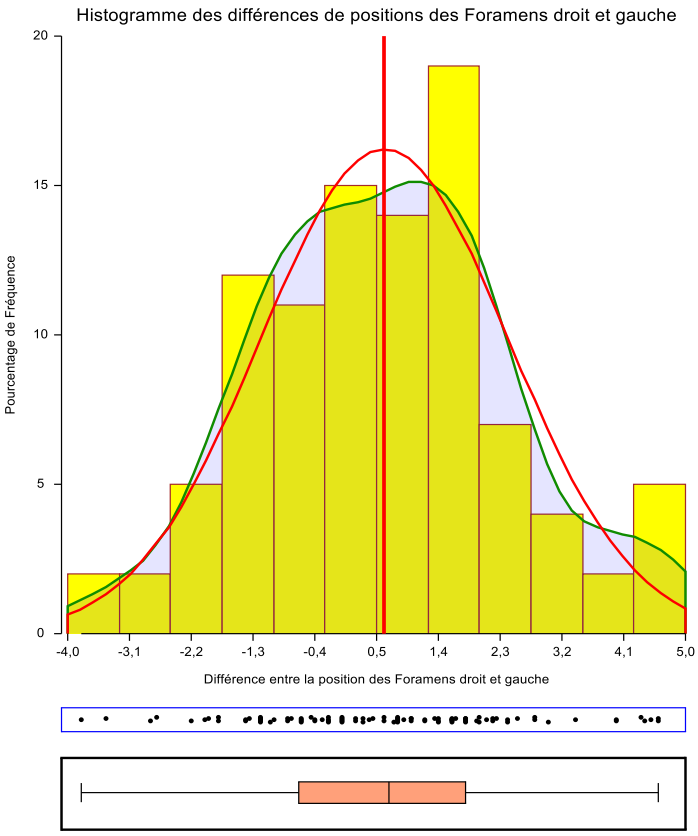
$H_{0,2}$: Position Foramen Droit – Position Foramen Gauche < - 0,5

L'hypothèse alternative H_1 de notre test est :

- 0,5 < Position Foramen Droit – Position Foramen Gauche < 0,5

Variable	Nombre de mesures	Moyenne	Écart type	Significativité *p* pour $\alpha < 0,05$
Position foramen droit	98	24,27	2,61	
Position foramen gauche	98	23,66	2,49	
Différence droit - gauche	98	0,61	1,81	P< 0,01

Nos résultats montrant une différence significative ($p<0,01$) entre les foramen droit et gauche par rapport à l'épine symphysaire pris comme axe de symétrie atteste donc d'une absence de symétrie.



Graphique 3-6: Histogramme de répartition de la différence de position des foramen..

En rouge, la répartition de la densité normale

En vert, la répartition de la densité de la différence des foramen.

Nous ne pouvons donc pas conclure à une symétrie entre les foramen droit et gauche au sein de notre échantillon. ***Les foramen ne pourront donc pas être utilisés en tant que référentiel au sein des études complémentaires.***

L'étude de la position des foramen par rapport aux dents n'est alors plus pertinente.

3.4. Interprétation des résultats

Cette étude fait suite à deux études en 2D (Benfredj 2013; Berdugo 2015) qui ont permis d'infirmer le mythe selon lequel toutes les avulsions dentaires se traduisent systématiquement par une perte osseuse alvéolaire. Les résultats avaient montré un rapport de référence constant os alvéolaire/hauteur mandibulaire (MC/BC) de 0,7 ± 0,06 d'os alvéolaire au niveau prémolaire-molaire. Notre étude est en accord avec ces données et montre un rapport MC/BC moyen de 0,68 ± 0,05. Plus précisément, dans la population féminine le rapport MC/BC est de 0,69 ± 0,06 et dans la population masculine de 0,68 ± 0,05. Ces résultats sont donc en accord avec ceux obtenus par Berdugo et Bendfredj qui trouvaient pour les femmes MC/BC = 0,7 ± 0,06 et pour les hommes 0,7 ± 0,07.

De cette analyse du rapport MC/BC entre Homme/Femme, nous avons pu en conclure que le sexe n'avait pas d'influence sur ce rapport et donc n'interférait pas sur la maintenance osseuse.

L'objectif principal et la finalité du présent travail était de mettre en évidence une éventuelle prédictibilité de la maintenance osseuse suite à des extractions dentaires. La démarche scientifique que nous avons suivie consistait donc à rechercher des corrélations entre des mesures morphométriques et le rapport MC/BC qui nous a servi sur cette population de sujets dentés d'évaluer l'hypothétique maintenance osseuse. Cette hypothèse de travail qui sous-entend une prédétermination génétique de la maintenance osseuse ne pouvait être raisonnablement envisagée que s'il existait une parfaite symétrie dimensionnelle des tables osseuses. Nos résultats histométriques montrent une excellente symétrie entre le secteur droit et gauche avec des mesures très comparables si ce n'est identiques. Cette symétrie peut être interprétée de différente façon mais pour notre part, nous pensons qu'elle *traduit un déterminisme génétique du support osseux et soutient l'existence d'entités fonctionnelles Odontologiques (EFO : organe dentaire et tissus environnants) déterminées génétiquement.* Par extension, cette symétrie permet d'envisager l'existence d'homéocodes desmodonto-dento-alvéolo-gingival (Nefussi 2018).

Suite à cette analyse de la symétrie et sa validation, et de façon à progresser dans cette notion de prédétermination, une étude de la prédictibilité de la maintenance osseuse s'est articulée en 2 étapes.

Dans un premier temps, une analyse univariée a été entreprise sur l'ensemble des variables. Cela a permis d'identifier celles qui avaient une corrélation significative avec la variable MC/BC mesurant la maintenance osseuse.

Dans un second temps, une analyse multivariée a été réalisée. Seules les variables sélectionnées précédemment y sont incluses. A l'issue de cette analyse une modélisation de la maintenance osseuse était calculée.

De cette première analyse statistique sur l'ensemble des examens CBCT de cette population sans distinction, la modélisation du rapport MC/BC n'a pas pu mener à des résultats convaincants. Nous avons alors essayé de classer ces examens CBCT en distinguant 3 sous-groupes en fonction de ce rapport : un sous-groupe avec un rapport faible (inférieur à 60%), un autre à l'autre extrême avec rapport important (supérieur à 74%) et enfin un dernier se situant entre les deux précédents avec un rapport compris entre 60 et 74%. Ces trois sous-groupes ont été étudiés séparément de façon à mettre en évidence par le biais de corrélations, une liaison entre des paramètres morphologiques et le rapport MC/BC. Cette analyse visait donc à « expliquer » ce rapport MC/BC par des déterminants morphométriques. Nos résultats nous ont permis de mettre en évidence une modélisation fiable uniquement pour le sous-groupe présentant un rapport inférieur à 60%.

L'histogramme du rapport MC/BC qui nous a permis de distinguer ces sous-groupes est à rapprocher du biotype osseux que nous avons présenté dans l'introduction de ce travail. Cet histogramme montre que chaque personne possède un potentiel différent de maintenance osseuse mesuré par le rapport MC/BC. Une analogie entre le rapport MC/BC peut être faite avec les différents biotypes osseux identifiés par Nefussi (Nefussi 2011). Ainsi le biotype osseux "résistant" est représenté par la population avec un rapport MC/BC important, et le biotype "sensible" est représenté par la population avec un rapport faible. Par conséquent, la connaissance du rapport MC/BC nous permettrait de catégoriser le patient comme patient à risque et donc patient susceptible de perdre un volume osseux important suite à des extractions. En fonction de ce risque, un traitement plus spécifique et donc plus adapté pourrait être envisagé pour les patients lors d'extractions dentaires par exemple.

Un patient avec un biotype osseux « résistant » (rapport MC/BC important) possèderait un fort potentiel de maintien osseux et ne présenterait pas, à priori, un risque de perte osseuse important. Les individus concernés possèderaient une désynchronisation importante du couplage dent-os : le maintien de l'os alvéolaire ne serait plus conditionné par la présence de la dent.

A l'opposé, un biotype osseux « sensible » (rapport MC/BC faible) possèderait un faible potentiel de maintien osseux. Les individus concernés présenteraient un risque important de perte osseuse et ***c'est précisément pour cette population que des résultats acquis dans cette étude, montrant une modélisation fiable à 69 % avec un MSE = 0,0001, pourrait être utile.***

3.5. Biais de l'étude et critiques du protocole

3.5.1. Détermination de la région d'intérêt

3.5.1.1. Choix de la mandibule

L'étude se limite à la région mandibulaire pour deux raisons principales :

- La pneumatisation du sinus a des conséquences directes sur la résorption osseuse (Cavalcanti et Coll. 2018), et dépend de nombreux paramètres (âge, sexe, hérédité, configuration crânio-facial, densité osseuse, pression sinusienne, site d'édentement, extractions simultanées, etc…) (Shapiro et Schorr 1980; Ikeda, Ikeda, et Komatsuzaki 1998; Sharan et Madjar 2008; Nowak et Mehlis 1975; Nefussi 2011).
- De plus, comparée au maxillaire, la mandibule présente une densité osseuse supérieure, une corticale plus épaisse, et une vitesse de résorption quatre fois plus élevée (Devlin, Horner, et Ledgerton 1998; Davarpanah et Szmukler-Moncler 2012).

Il a donc été jugé plus pertinent d'orienter notre étude uniquement sur les arcades mandibulaires.

3.5.1.2. Choix du secteur prémolaire-molaire

Le secteur prémolaire-molaire a été évalué comme étant le plus judicieux à étudier face au secteur antérieur mandibulaire car c'est le plus concerné au niveau chirurgical.

Le choix limité de ce secteur a certes simplifié le protocole mais le reste du massif crânio-facial n'a pas été pris en compte. En 2014, Sadek entreprend une étude sur CBCT et cherche une corrélation entre la dimension verticale faciale et la dimension de l'os alvéolaire (maxillaire et mandibulaire). Les résultats montrent que les groupes avec une hauteur faciale importante ont une hauteur alvéolaire antérieure significativement plus importante que les autres groupes. Toutefois concernant les secteurs postérieurs, aucune différence significative n'a été montrée. L'échantillon de cette étude est limité (45 CBCT) mais semble aborder une piste intéressante en rapprochant les dimensions de l'anatomie faciale à celle du SDA.

3.5.2. Choix de l'axe de symétrie

Le positionnement d'un axe de symétrie fiable et reproductible est indispensable pour les études qui suivront celle-ci. En effet, il sera utilisé afin de définir la position des coupes vestibulo-linguales dans les secteurs édentés.

Certaines études se servent de l'épaisseur moyenne des dents pour situer les coupes par rapport à la dent la plus distale ou encore de la position relative des dents par rapport au foramen mentonnier (Braut et Coll. 2014). Cette technique peut entraîner des biais de positionnement important car l'histoire dentaire du patient y est négligée. En effet, au-delà des différentes malpositions éventuelles, il y a également les migrations physiologiques et les éventuels mouvements orthodontiques à prendre en compte. Tous ces paramètres feront varier les positions des coupes et diminueront la fiabilité de ces techniques.

Ainsi, il a été choisi d'utiliser un point de repère osseux stable, telle que l'épine symphysaire, pour déterminer la position supposée des dents au niveau des secteurs édentés dans les études suivantes. L'analyse réalisée sur chacune des coupes panoramiques permet d'apprécier la distance entre l'épine symphysaire et les différentes structures repérées. Cette technique n'est toutefois pas dénuée de biais car elle ne tient pas compte des différentes formes d'arcades (courte, longues…) et de leur asymétrie éventuelle.

3.5.3. Détermination des hauteurs et de l'épaisseur des corticales

L'orientation de l'arcade joue un rôle important sur l'angulation de plan osseux dans la coupe vestibulo-linguale réalisée. Le grand axe osseux devrait idéalement toujours être à la verticale. Si ce n'est pas le cas les mesures au niveau des hauteurs et des épaisseurs des corticales sont altérées. En effet, elles sont réalisées sur une ligne horizontale coupant le plan osseux de biais (voir ***figure 3-1*** et ***figure 3-2***).

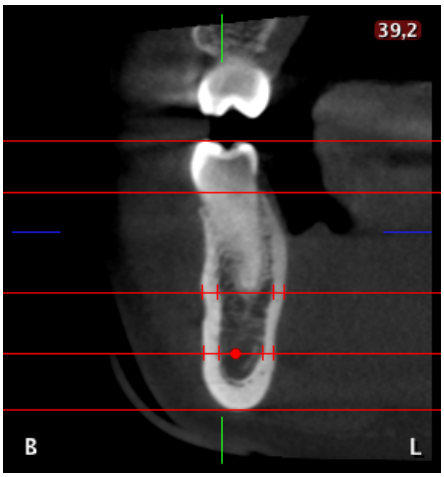


Figure 3-1 : Illustration d'orientation d'arcade idéale avec le grand axe osseux à la verticale.

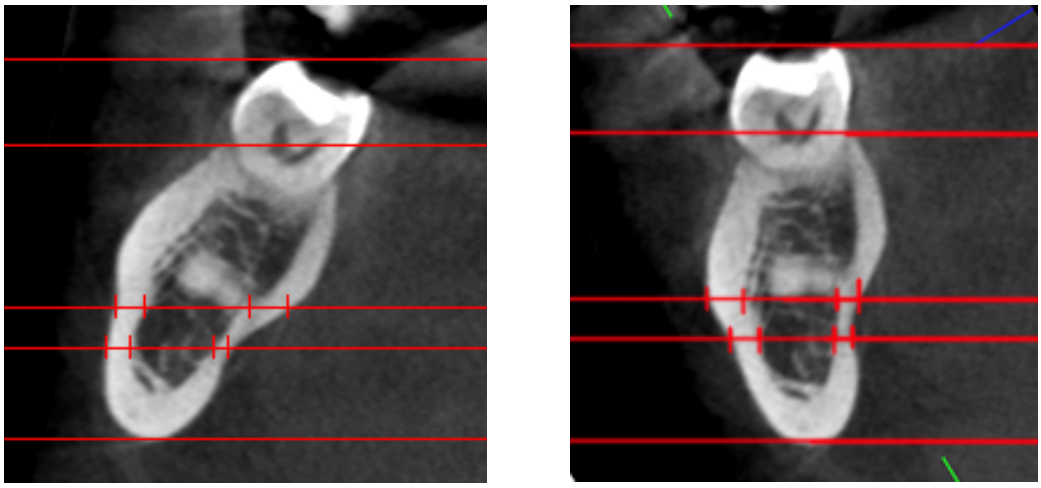


Figure 3-2 : L'orientation de l'arcade cause une altération de la mesure de la hauteur réelle de l'arcade mais également des épaisseurs des corticales. Nous pouvons constater qu'après redressement certaines parties paraissent plus fines et d'autres plus épaisses au niveau des corticales. De même la hauteur est plus importante après le redressement.

La mesure des épaisseurs des corticales est intéressante car elle est dépendante de plusieurs facteurs tels que l'âge, le sexe, l'ethnie, et les sites concernés sur une même mandibule (Cassetta et Coll. 2013). De plus, cette épaisseur corticale semblerait liée à la densité osseuse (Webber et Coll. 2015). Ce paramètre est donc lié au métabolisme osseux et peut donc potentiellement jouer un rôle sur la maintenance osseuse.

3.5.4. Biais de sélection

La sélection des patients n'a été faite qu'à partir des données radiologiques récupérées dans les différentes structures médicales. Il y a donc plusieurs biais de sélection au sein de l'étude :

Les antécédents médicaux des patients : ils sont inconnus, et pourtant ils jouent un rôle plus ou moins important dans le métabolisme osseux. Une irradiation cervicale, un diabète, une hypothyroïdie ou encore d'autres pathologies systémiques en sont quelques exemples.

L'ethnie du patient : en France, les statistiques ethniques sont interdites par la loi du 6 janvier 1978, relative à l'informatique, aux fichiers, aux libertés[1] : « Il est interdit de collecter ou de traiter des données à caractère personnel qui font apparaître directement ou indirectement les origines raciales ou ethniques […] des personnes, ou qui sont relatives à la santé de celles-ci ». Cependant ce critère est un facteur non négligeable dans cette étude, compte tenu des différences morphologiques du développement crânio-facial entre les différentes populations.

L'occlusion du patient : elle ne peut être évaluée au niveau radiologique. La présence de béances latérales ou de contacts prématurés peuvent être responsables de perte osseuse ponctuelle non prise en compte dans l'étude.

3.5.5. L'outil CBCT

Il a été montré que l'orientation de la tête du patient durant le scan n'influence pas la précision et la fiabilité de mesures du complexe crânio-facial (Sadek, Sabet, et Hassan 2015).

Le pixel est l'unité de base permettant de mesurer la définition d'une image numérique. Le voxel est son analogue en 3D. Quand la taille du voxel est plus grande que l'objet qu'il représente, le plus souvent en marge d'un objet ou à la limite de deux substances de densités différentes, une moyenne des densités présentes est affichée. Cela peut entraîner une résolution spatiale plus faible car cela rend les limites entre les densités plus difficiles à distinguer avec précision. Les os minces sont particulièrement sensibles à ce phénomène (Sadek, Sabet, et Hassan 2015). Quand la corticale est peu épaisse, la définition de sa limite n'est pas évidente si la résolution du CBCT n'est pas suffisante.

Liang et Coll. comparent, en 2009, la qualité des images entre 5 machines CBCT différentes et un MSCT sur une mandibule immergée dans l'eau. Ils concluent que la qualité des images CBCT est comparable, voire même supérieure à celle du scanner. Ce sujet est

[1] Loi du 6 janvier 1978, chapitre II, article 8, paragraphe I.

largement discuté actuellement, en fonction à la fois des appareils utilisés lors des études et des attentes des praticiens (Liang et Coll. 2010).

Le CBCT est, par ailleurs, plus sensible aux artefacts cinétiques du patient auquel des consignes d'immobilité sont données ; l'appareil n'effectuant qu'une seule rotation autour de ce dernier (Nardi et Coll. 2015).

3.5.6. Appareils d'acquisition radiographiques différents

Les examens de la base de données proviennent de deux appareils de radiographie différents avec des caractéristiques d'acquisition différentes. Le biais principal ici est leur résolution qui est différente (150 et 200 µm par voxel). Cependant, lorsque Maret en 2014 compare plusieurs acquisitions d'une même dent mais avec des appareils de résolution différente (76, 200 et 300 µm par voxel), il relate des différences comprises entre 0,17 et 0,19mm (Maret et Coll. 2014). Le biais est donc bien présent mais relativement négligeable et maitrisable pour l'étude.

3.5.7. Amélioration du protocole

L'amélioration principale du protocole de cette étude réside dans l'automatisation de la mesure des coupes vestibulo-linguales. En effet, cette étape est la plus chronophage et redondante, où chaque pointage peut devenir source d'erreur mais également être source d'information. L'équilibre a été trouvé à 13 pointages par coupe analysée. Pour remédier à cela, un algorithme en phase test permettrait une véritable cartographie de l'os mandibulaire. Il a pour objectif d'être capable de discerner l'os cortical de l'os trabéculaire, de relever la position du canal mandibulaire, de distinguer la racine dentaire de l'os, etc.
Parmi les nombreux avantages, ceci permettra de quantifier les épaisseurs des corticales sur tout le périmètre osseux et d'éliminer les biais de mesure sur la détermination de la hauteur osseuse et des épaisseurs des corticales.

3.5.8. Élimination des mesures aberrantes

Une fois les mesures aberrantes détectées, une décision doit être faite les concernant. Dans un premier temps, il faut investiguer la présence d'erreurs éventuelles au sein des données. Si ce n'est pas le cas, se pose alors la question : doit-on conserver ou non ces mesures ? Une approche pragmatique de la problématique est de réaliser les analyses avec et sans ces mesures

aberrantes. On observe alors s'il y a un changement important au niveau des conclusions. Au sein de l'étude, les analyses ont été réalisées avec et sans ces mesures aberrantes sans avoir de changements importants au niveau des résultats. Ceci s'explique par le peu de mesures aberrantes et la grande quantité de données disponibles.

3.6. Conséquences cliniques

Cette étude est une étude pilote qui servira de point de départ à d'autres recherches qui pourraient permettre, à terme, de prédire la résorption osseuse d'un patient avant même une avulsion dentaire. De cette étude découlent deux études réalisées sur des patients édentés unilatéralement et bilatéralement. Elles ont pour but de confirmer ou infirmer les modèles de maintenance osseuse émis.

A cette date, cette étude n'a pas d'application clinique concrète. Toutefois, en réduisant les biais au maximum, et en augmentant la taille de l'échantillon, on espère augmenter la pertinence des modèles de prédictibilité et ainsi modifier notre pratique au quotidien.

Conclusion

La maintenance osseuse ou à l'inverse, la perte osseuse est-elle prédictible ?

Notre travail constitue une étude pilote encourageante. Il a permis de montrer l'intérêt que représente l'analyse morphométrique des examens CBCT des patients concernant la prédictibilité de la maintenance osseuse. Une telle analyse illustre le potentiel biologique du patient et pourrait permettre à terme une réelle individualisation des soins.

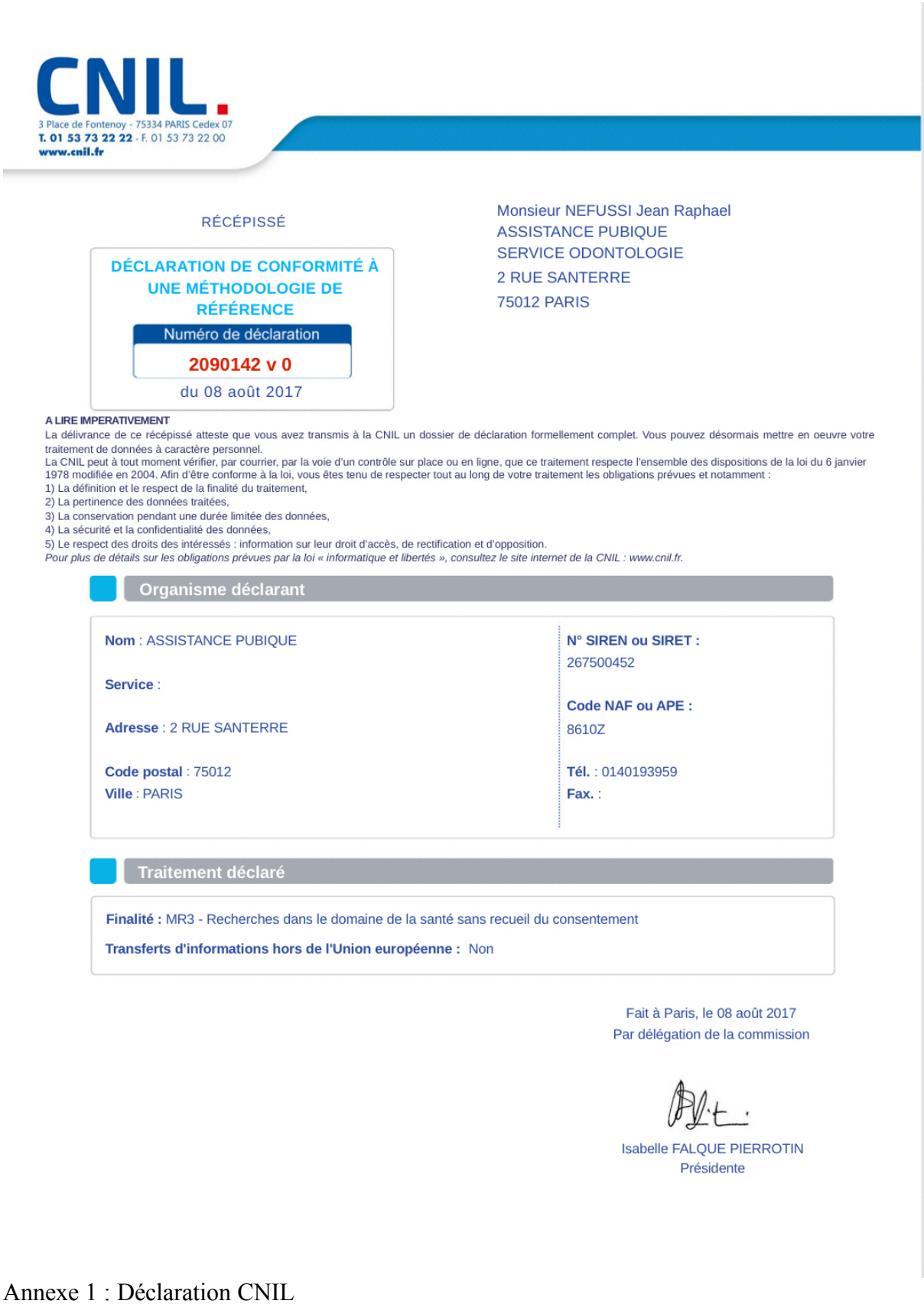
Cette étude incite à la poursuite des investigations dans ce domaine. Deux études sur des patients édentés poursuivent ce travail afin de confirmer ou infirmer les modèles de maintenance osseuse émis.

Dans tous les cas, il est nécessaire d'étendre cette étude à des cohortes d'examens plus importants qui seront permis avec l'arrivée du « Big Data ».

Quel serait la conséquence clinique d'une telle avancée ?

Avant toute avulsion, on réaliserait un CBCT du patient. Ce dernier serait ensuite analysé par un algorithme qui délivrerait une modélisation 3D de ce que serait la crête alvéolaire après cicatrisation osseuse.

Annexes



CNIL.
3 Place de Fontenoy - 75334 PARIS Cedex 07
T. 01 53 73 22 22 - F. 01 53 73 22 00
www.cnil.fr

RÉCÉPISSÉ

DÉCLARATION DE CONFORMITÉ À UNE MÉTHODOLOGIE DE RÉFÉRENCE

Numéro de déclaration

2090142 v 0

du 08 août 2017

Monsieur NEFUSSI Jean Raphael
ASSISTANCE PUBIQUE
SERVICE ODONTOLOGIE
2 RUE SANTERRE
75012 PARIS

A LIRE IMPERATIVEMENT

La délivrance de ce récépissé atteste que vous avez transmis à la CNIL un dossier de déclaration formellement complet. Vous pouvez désormais mettre en oeuvre votre traitement de données à caractère personnel.
La CNIL peut à tout moment vérifier, par courrier, par la voie d'un contrôle sur place ou en ligne, que ce traitement respecte l'ensemble des dispositions de la loi du 6 janvier 1978 modifiée en 2004. Afin d'être conforme à la loi, vous êtes tenu de respecter tout au long de votre traitement les obligations prévues et notamment :
1) La définition et le respect de la finalité du traitement,
2) La pertinence des données traitées,
3) La conservation pendant une durée limitée des données,
4) La sécurité et la confidentialité des données,
5) Le respect des droits des intéressés : information sur leur droit d'accès, de rectification et d'opposition.
Pour plus de détails sur les obligations prévues par la loi « informatique et libertés », consultez le site internet de la CNIL : www.cnil.fr.

Organisme déclarant

Nom : ASSISTANCE PUBIQUE
Service :
Adresse : 2 RUE SANTERRE
Code postal : 75012
Ville : PARIS

N° SIREN ou SIRET : 267500452
Code NAF ou APE : 8610Z
Tél. : 0140193959
Fax. :

Traitement déclaré

Finalité : MR3 - Recherches dans le domaine de la santé sans recueil du consentement
Transferts d'informations hors de l'Union européenne : Non

Fait à Paris, le 08 août 2017
Par délégation de la commission

Isabelle FALQUE PIERROTIN
Présidente

Annexe 1 : Déclaration CNIL

Variable	Nombre de valeurs	Moyenne	Ecart type	Maximum	Minimum	Ecart
BC	510	28,09	2,70	21,60	35,40	13,80
MC	510	19,08	1,95	14,20	24,80	10,60
MB	510	9,01	1,91	4,80	14,60	9,80
MP	340	5,50	2,02	0,30	11,10	10,80
BP	340	14,53	2,70	6,45	22,80	16,35
MC/BC	510	0,68	0,05	0,53	0,81	0,28
Largeur Table Externe Nerf	510	10,68	1,60	6,45	15,60	9,15
Largeur Table Interne Nerf	510	6,24	1,29	2,10	10,05	7,95
Epaisseur Cortical Vest. Nerf	510	2,36	0,46	1,20	3,60	2,40
Epaisseur Cortical Ling. Nerf	510	2,08	0,50	0,90	4,20	3,30
Position M à Vest. Externe	510	5,96	1,49	1,60	11,00	9,40
Position M à Ling. Externe	510	4,73	1,50	1,80	9,80	8,00
Position M à Vest. Interne	510	3,59	1,35	-0,20	8,00	8,20
Position M à Ling. Interne	510	2,65	1,34	0,00	7,60	7,60
Epaisseur Cortical Vest. Nerf	510	2,36	0,46	1,20	3,60	2,40
Epaisseur Cortical Ling. Apex	340	2,08	0,51	0,75	3,60	2,85
Largeur Table Externe Apex	340	11,80	2,02	4,95	18,60	13,65
Largeur Table Interne Apex	340	7,67	1,53	2,70	12,40	9,70

Annexe 2 : Tableau descriptif des variables étudiées (l'unité est le millimètre)

Variable	Nombre de mesures	Moyenne	Ecart type	p (α < 0,05)
MC droit	277	19,324	2,254	
MC gauche	277	19,035	2,254	
MC droit-gauche	277	0	0	NS
MB droit	277	8,922	1,896	
MB gauche	277	8,92	1,858	
MB droit - gauche	277	0,002	0,064	NS
BC droit	277	28,244	2,938	
BC gauche	277	27,955	2,966	
BC droit-gauche	277	0,288	0,09	NS
MP droit	184	5,734	2,534	
MP gauche	184	5,581	2,411	
MP droit - gauche	184	0,153	0,13	NS
EpCoV droit	277	28,244	2,938	
EpCoV gauche	277	27,955	2,966	
EpCoV droit-gauche	277	0,288	0,09	p < 0,03
EpCoL droit	277	2,038	0,476	
EpCoL gauche	277	2,092	0,59	
EpCoL droit - gauche	277	-0,053	0,032	NS
LaTaEx droit	277	10,574	1,581	
LaTaEx gauche	277	10,65	1,609	
LaTaEx droit - gauche	277	-0,076	0,057	NS
LaTaIn droit	277	6,242	1,35	
LaTaIn gauche	277	6,206	1,32	
LaTaIn droit - gauche	277	0,036	0,048	NS
EpCoVAp droit	184	2,001	0,659	
EpCoVAp gauche	184	2,065	0,623	
EpCoVAp droit - gauche	184	-0,065	0,042	NS
EpCoLAp droit	184	2,049	0,535	
EpCoLAp gauche	184	2,075	0,548	
EpCoLAp droit - gauche	184	-0,026	0,032	NS
LaTaExAp droit	184	11,522	2,132	
LaTaExAp gauche	184	11,761	2,117	
LaTaExAp droit - gauche	184	-0,238	0,07	p < 0,001
LaTaInAp droit	184	7,473	1,616	
LaTaInAp gauche	184	7,62	1,625	
LaTaInAp droit - gauche	184	-0,148	0,06	p < 0,01
PoMVE droit	277	5,768	1,476	
PoMVE gauche	277	6,017	1,562	
PoMVE droit - gauche	277	-0,249	0,06	p < 0,00004
PoMVI droit	277	3,475	1,346	
PoMVI gauche	277	3,665	1,445	
PoMVI droit - gauche	277	-0,19	0,058	p < 0,001
PoMLI droit	277	2,767	1,455	
PoMLI gauche	277	2,541	1,377	
PoMLI droit - gauche	277	0,226	0,064	p < 0,0004
PoMLE droit	277	4,805	1,629	
PoMLE gauche	277	4,632	1,541	
PoMLE droit - gauche	277	0,173	0,071	p < 0,01

Annexe 3 : Tableau d'analyse de symétrie des différentes variables.
Le test t de Student pour deux séries appariées est réalisé. Un résultat non significatif (NS) ne permet pas de rejeter la symétrie des deux variables pour $\alpha = 0,05$ (traduisant une différence droite gauche non significative). Si une différence significative est présente entre la droite et la gauche le *p* est indiqué.

	MC_BCx	BC	MC	MB	MP	BP	LaTaEx	LaTaIn	EpCoV	EpCoL	PoMVEx	PoMLE	PoMVI	PoMLI	MC_EpTaEx	MP_LaTaEx	MP_LaTaIn	MP_MC	MP_BC	MP_MB	BC_LaTaEx	MB_LaTaEx	EpCoVApe	EpCoLAp	LaTaExAp	LaTaInAp
MC_BCx	1,00	-0,31	0,45	-0,90	0,28	-0,45	-0,21	-0,29	0,16	-0,08	0,31	-0,53	0,29	-0,57	0,45	0,35	0,41	0,18	0,39	0,68	-0,01	-0,73	0,16	-0,12	0,05	0,06
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81	0,00	0,00	0,02	0,34	0,27
	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00
BC	-0,31	1,00	0,71	0,69	0,29	0,74	0,38	0,36	0,07	0,22	0,01	0,39	-0,01	0,35	0,11	0,13	0,05	0,11	0,03	-0,11	0,29	0,42	0,07	0,12	0,13	0,14
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,77	0,00	0,86	0,00	0,01	0,02	0,39	0,04	0,62	0,05	0,00	0,00	0,14	0,03	0,01	0,01
	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00
MC	0,45	0,71	1,00	-0,02	0,50	0,36	0,20	0,13	0,18	0,15	0,25	-0,03	0,22	-0,09	0,44	0,39	0,35	0,24	0,32	0,41	0,26	-0,15	0,18	0,02	0,17	0,19
	0,00	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00
	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00
MB	-0,90	0,69	-0,02	1,00	-0,08	0,67	0,33	0,37	-0,09	0,16	-0,24	0,59	-0,23	0,59	-0,29	-0,21	-0,28	-0,08	-0,28	-0,55	0,14	0,75	-0,09	0,14	0,02	0,02
	0,00	0,00	0,61	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,76	0,78
	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00
MP	0,28	0,29	0,50	-0,08	1,00	0,69	0,10	0,07	0,11	0,03	0,33	-0,23	0,32	-0,26	0,22	0,91	0,80	0,96	0,96	0,83	0,09	-0,14	0,11	0,08	0,31	0,28
	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,08	0,21	0,04	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01	0,04	0,13	0,00	0,00
	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00
BP	-0,45	0,74	0,36	0,67	0,69	1,00	0,31	0,32	-0,01	0,16	0,04	0,27	0,05	0,24	-0,04	0,53	0,39	0,65	0,51	0,22	0,19	0,44	-0,01	0,17	0,24	0,22
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,00	0,44	0,00	0,36	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,00	0,00	0,00
	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00
LaTaEx	-0,21	0,38	0,20	0,33	0,10	0,31	1,00	0,88	0,44	0,53	0,53	0,54	0,44	0,40	-0,77	-0,30	-0,37	0,04	-0,01	-0,11	-0,76	-0,37	0,44	0,30	0,66	0,65
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	0,80	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00
LaTaIn	-0,29	0,36	0,13	0,37	0,07	0,32	0,88	1,00	0,07	0,16	0,46	0,48	0,49	0,47	-0,71	-0,28	-0,47	0,03	-0,04	-0,16	-0,65	-0,24	0,07	0,22	0,65	0,69
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,48	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00
	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00
EpCoV	0,16	0,07	0,18	-0,09	0,11	-0,01	0,44	0,07	1,00	0,31	0,45	0,03	0,15	-0,09	-0,29	-0,06	0,08	0,07	0,11	0,16	-0,41	-0,40	1,00	0,12	0,27	0,18
	0,00	0,14	0,00	0,04	0,04	0,82	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,05	0,00	0,27	0,15	0,21	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00
EpCoL	-0,08	0,22	0,15	0,16	0,03	0,16	0,53	0,16	0,31	1,00	0,10	0,47	0,01	0,15	-0,38	-0,17	-0,02	-0,01	-0,04	-0,06	-0,39	-0,21	0,31	0,26	0,18	0,13
	0,09	0,00	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,82	0,00	0,00	0,00	0,75	0,82	0,47	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00
PoMVEx	0,31	0,01	0,25	-0,24	0,33	0,04	0,53	0,46	0,45	0,10	1,00	-0,43	0,95	-0,51	-0,34	0,10	0,02	0,29	0,34	0,35	-0,54	-0,59	0,45	0,17	0,63	0,57
	0,00	0,77	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00
PoMLE	-0,53	0,39	-0,03	0,59	-0,23	0,27	0,54	0,48	0,03	0,47	-0,43	1,00	-0,48	0,94	-0,49	-0,41	-0,40	-0,25	-0,35	-0,46	-0,27	0,19	0,03	0,14	0,04	0,10
	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,01	0,44	0,06
	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00
PoMVI	0,29	-0,01	0,22	-0,23	0,32	0,05	0,44	0,49	0,15	0,01	0,95	-0,48	1,00	-0,54	-0,28	0,13	0,00	0,30	0,34	0,33	-0,46	-0,52	0,15	0,14	0,61	0,56
	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00
PoMLI	-0,57	0,35	-0,09	0,59	-0,26	0,24	0,40	0,47	-0,09	0,15	-0,51	0,94	-0,54	1,00	-0,40	-0,39	-0,44	-0,28	-0,38	-0,49	-0,16	0,29	-0,09	0,06	-0,02	0,07
	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,27	0,74	0,20
	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00
MC_EpTaEx	0,45	0,11	0,44	-0,29	0,22	-0,04	-0,77	-0,71	-0,29	-0,38	-0,34	-0,49	-0,28	-0,40	1,00	0,52	0,57	0,11	0,21	0,35	0,88	0,26	-0,29	-0,26	-0,50	-0,49
	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00
MP_LaTaEx	0,35	0,13	0,39	-0,21	0,91	0,53	-0,30	-0,28	-0,06	-0,17	0,10	-0,41	0,13	-0,39	0,52	1,00	0,93	0,90	0,92	0,84	0,39	0,00	-0,06	-0,05	0,03	0,00
	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,05	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,40	0,58	0,98
	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00
MP_LaTaIn	0,41	0,05	0,35	-0,28	0,80	0,39	-0,37	-0,47	0,08	-0,02	0,02	-0,40	0,00	-0,44	0,57	0,93	1,00	0,78	0,83	0,82	0,41	-0,03	0,08	-0,09	-0,11	-0,15
	0,00	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,75	0,67	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,15	0,12	0,04	0,01
	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00
MP_MC	0,18	0,11	0,24	-0,08	0,96	0,65	0,04	0,03	0,07	-0,01	0,29	-0,25	0,30	-0,28	0,11	0,90	0,78	1,00	0,97	0,79	0,03	-0,11	0,07	0,08	0,29	0,24
	0,00	0,04	0,00	0,12	0,00	0,00	0,47	0,60	0,21	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,04	0,21	0,13	0,00	0,00
	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00
MP_BC	0,39	0,03	0,32	-0,28	0,96	0,51	-0,01	-0,04	0,11	-0,04	0,34	-0,35	0,34	-0,38	0,21	0,92	0,83	0,97	1,00	0,91	0,02	-0,27	0,11	0,04	0,27	0,24
	0,00	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,48	0,05	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	0,00	0,05	0,43	0,00	0,00
	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00
MP_MB	0,68	-0,11	0,41	-0,55	0,83	0,22	-0,11	-0,16	0,16	-0,06	0,35	-0,46	0,33	-0,49	0,35	0,84	0,82	0,79	0,91	1,00	0,02	-0,48	0,16	-0,04	0,20	0,18
	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00
	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00
BC_LaTaEx	-0,01	0,29	0,26	0,14	0,09	0,19	-0,76	-0,65	-0,41	-0,39	-0,54	-0,27	-0,46	-0,16	0,88	0,39	0,41	0,03	0,02	0,02	1,00	0,68	-0,41	-0,23	-0,59	-0,57
	0,81	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,68	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00
MB_LaTaEx	-0,73	0,42	-0,15	0,75	-0,14	0,44	-0,37	-0,24	-0,40	-0,21	-0,59	0,19	-0,52	0,29	0,26	0,00	-0,03	-0,11	-0,27	-0,48	0,68	1,00	-0,40	-0,07	-0,42	-0,41
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	0,60	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00
	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00
EpCoVApe	0,16	0,07	0,18	-0,09	0,11	-0,01	0,44	0,07	1,00	0,31	0,45	0,03	0,15	-0,09	-0,29	-0,06	0,08	0,07	0,11	0,16	-0,41	-0,40	1,00	0,12	0,27	0,18
	0,00	0,14	0,00	0,04	0,04	0,82	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,05	0,00	0,27	0,15	0,21	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	510,00	510,00	510,00	340,00	340,00	340,00
EpCoLAp	-0,12	0,12	0,02	0,14	0,08	0,17	0,30	0,22	0,12	0,26	0,17	0,14	0,14	0,06	-0,26	-0,05	-0,09	0,08	0,04	-0,04	-0,23	-0,07	0,12	1,00	0,52	0,23
	0,02	0,03	0,77	0,01	0,13	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,27	0,00	0,40	0,12	0,13	0,43	0,44	0,00	0,21	0,03	0,00	0,00	0,00
	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00
LaTaExAp	0,05	0,13	0,17	0,02	0,31	0,24	0,66	0,65	0,27	0,18	0,63	0,04	0,61	-0,02	-0,50	0,03	-0,11	0,29	0,27	0,20	-0,59	-0,42	0,27	0,52	1,00	0,91
	0,34	0,01	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,74	0,00	0,58	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00
LaTaInAp	0,06	0,14	0,19	0,02	0,28	0,22	0,65	0,69	0,18	0,13	0,57	0,10	0,56	0,07	-0,49	0,00	-0,15	0,24	0,24	0,18	-0,57	-0,41	0,18	0,23	0,91	1,00
	0,27	0,01	0,00	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,06	0,00	0,20	0,00	0,98	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00

Annexe 4 : Analyse univariée de toutes les variables.

- La première ligne de la matrice représente le coefficient de corrélation et mesure donc le lien entre 2 variables. Ce coefficient nommé R varie entre -1 et +1. Plus il est proche de ces extrémités plus la liaison est forte.
- La deuxième est la significativité de cette corrélation que l'on appelle « p ». On considère par convention qu'en deçà de p< 0,05, cette liaison est significative. Avec un p< 0,0000001 cette liaison est très hautement significative.
- La troisième ligne est le nombre de mesures testées.

```
[PATIENT]
PATIENT_ID=2
FIRST_NAME=
FAMILYNAME=1118
BIRTH_DATE=19530604
SEX=M
EXTERNAL_ID=1118

[TREATMENT]
DOCTOR=

[IMAGE]
IMAGENUMBER=9
DATE=20150409
TIME=163444
PIXELSIZE=200
BIT_DEPTH=24
CALIBRATED_SCALE=0.200000
ROTATION_ANGLE=0
HORZ_MIRROR=0
IMAGE_TYPE=5
IMAGE_SUB_TYPE=2
IMAGE_FORMAT=png
TOOTH_MASK=0
REMARK=
```

Annexe 5 : Exemple de métadonnées associées à chacune des coupes réalisées. Ici le numéro d'examen est 1118 avec une taille de pixel de 200 micromètres.

Table des illustrations

Figure 1-1 : Illustrations des différents squelettes.....4
Figure 1-2 : Les différentes condensations cellulaires à l'origine des squelettes.....6
Figure 1-3 : Vision macroscopique, micro-radiographique, et histologique à l'échelon structural et ultra-structural du squelette dento-alvéolaire.....6
Figure 1-4 : Schéma du squelette dento-alvéolaire 8
Figure 1-5 : Illustration du complexe de développement dento-alvéolaire. 9
Figure 1-6 : Illustration de la prédictibilité de la perte osseuse 12
Figure 1-7 : Illustration des biotypes osseux résistant et sensible 14
Figure 2-1 : Diagramme représentant la proportion homme/femme au sein de l'étude.....18
Figure 2-2 : Illustration des 7 images exportées.....23
Figure 2-3 : Illustration des 7 images après usage de l'algorithme 26
Figure 2-4 : Schéma illustrant les mesures utilisées.....29
Figure 3-1 : Illustration d'orientation d'arcade idéale avec le grand axe osseux à la verticale. 47
Figure 3-2 : L'orientation de l'arcade cause une altération de la mesure de la hauteur réelle de l'arcade mais également des épaisseurs des corticales. 47

Graphique 3-1 : Graphique de Bland-Altman comparant la position des points mesurant la cortical lingual externe par les différents opérateurs 31
Graphique 3-2 : Graphique de corrélation comparant la position des points mesurant la cortical lingual externe par les différents opérateurs. 32
Graphique 3-3 : Graphique représentant la différence MC/BC en fonction du sexe 34
Graphique 3-4 : Tableau de corrélation entre les variables MC/BC et âge des sujets.....35
Graphique 3-5: Histogramme représentant la répartition du rapport MC/BC en trois sous-groupes distincts. 39
Graphique 3-6: Histogramme de répartition de la différence de position des foramen.. 42

Tableau 3-1: Extrait de la colonne MC/BC du tableau de corrélation de l'analyse univariée.....36
Tableau 3-2 : Extrait de la colonne MC/BC du tableau de corrélation de l'analyse univariée pour MC/BC < 0,60. 39

Annexe 1 : Déclaration CNIL.....52
Annexe 2 : Tableau descriptif des variables étudiées (l'unité est le millimètre) 53
Annexe 3 : Tableau d'analyse de symétrie des différentes variables.....54
Annexe 4 : Analyse univariée de toutes les variables.....56
Annexe 5 : Exemple de métadonnées associées à chacune des coupes réalisées.....56

Références bibliographiques

Aknin, J.-J. 2008. « Croissance crâniofaciale. » Encycl Méd Chir - Orthopédie dentofaciale. 2008 ; [23-455-C-10];1-21.

Benfredj R. « Étude préliminaire sur l'existence d'un biotype osseux alvéolaire ». [Thèse d'exercice : chirurgie dentaire]. Paris: Université Paris Diderot - Paris 7. UFR d'Odontologie; 2013.

Berdugo, A. « Étude sur la prédictibilité de la résorption osseuse alvéolaire après extraction dentaire. » [Thèse d'exercice : chirurgie dentaire]. Paris: Université Paris Diderot - Paris 7. UFR d'Odontologie; 2015.

Berkovitz, B. K. B, G. R Holland, et B. J Moxham. Oral Anatomy, Histology and Embryology. Edinburgh; New York: Mosby/Elsevier; 2009.

Braut, Vedrana, Michael Bornstein, Ulrike Kuchler, et Daniel Buser. 2014. « Bone Dimensions in the Posterior Mandible: A Retrospective Radiographic Study Using Cone Beam Computed Tomography. Part 2— Analysis of Edentulous Sites ». Int J Periodontics Restorative Dent. 34 (5): 639-47.

Bressan, Eriberto, Nadia Ferrarese, Mattia Pramstraller, Diego Lops, Roberto Farina, et Cristiano Tomasi. 2017. « Ridge Dimensions of the Edentulous Mandible in Posterior Sextants: An Observational Study on Cone Beam Computed Tomography Radiographs ». Implant Dent. 26 (1): 66-72.

Burr DB, Allen MR. « Basic and applied bone biology. » Amsterdam: Elsevier/Academic Press; 2013. 373 p.

Cassetta, M., Aaa. Sofan, F. Altieri, et E. Barbato. « Evaluation of alveolar cortical bone thickness and density for orthodontic mini-implant placement ». J Clin Exp Dent. 2013 Dec 1;5(5):e245-52.

Cavalcanti, Marília Cabral, Thais Eiler Guirado, Vitor Marques Sapata, Claudio Costa, Cláudio Mendes Pannuti, Ronald Ernst Jung, et João Batista César Neto. « Maxillary sinus floor pneumatization and alveolar ridge resorption after tooth loss: a cross-sectional study ». Braz Oral Res. 2018 Aug 6;32:e64.

Cavézian, Robert, et Gérard Pasquet. Cone beam: Imagerie diagnostique en odontostomatologie. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2011.

CNIL - INDS. s. d. [Internet] FAQ Disponible sur: https://doc.indsante.fr/FAQ%20-%20v15012018.pdf.

Currie, Charlotte C, John G Meechan, John M Whitworth, Andrew Carr, et Ian P Corbett. « Determination of the Mental Foramen Position in Dental Radiographs in 18–30 Year Olds ». Dentomaxillofac Radiol. 2016;(1): 20150195.

Dan Dan, Ekezie, et Agatha Ijeoma. « Statitical analysis/Methods of detecting outliers in a univariate data in a regression analysis model ». International Journal of Education and Research. 2013;1(5).

Davarpanah, M., et S. Szmukler-Moncler. Manuel d'implantologie clinique: concepts, intégration des protocoles et esquisses de nouveaux paradigmes. Rueil-Malmaison: Éd. CdP; 2012.

Deman, P, P Atwal, C Duzenli, Y Thakur, et N L Ford. « Dose measurements for dental cone-beam CT: a comparison with MSCT and panoramic imaging ». Phys Med Biol. 2014;59 (12):3201-22.

Devlin, H., K. Horner, et D. Ledgerton. « A Comparison of Maxillary and Mandibular Bone Mineral Densities ». J Prosthet Dent. 1998;79 (3): 323-27.

Feldkamp, L. A., L. C. Davis, et J. W. Kress.. « Practical Cone-Beam Algorithm ». J Opt Soc Am A. 1984;1(6): 612.

Ikeda, Atsuko, Motohisa Ikeda, et Atsushi Komatsuzaki. « A CT Study of the Course of Growth of the Maxillary Sinus: Normal Subjects and Subjects with Chronic Sinusitis ». ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec . 1998;60(3): 147-52.

Liang, Xin, Ivo Lambrichts, Yi Sun, Kathleen Denis, Bassam Hassan, Limin Li, Ruben Pauwels, et Reinhilde Jacobs. « A Comparative Evaluation of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) and Multi-Slice CT (MSCT). Part II: On 3D Model Accuracy ». Euro J Radiol. 2010;75(2): 270-74.

Liebgott, Bernard. « The anatomical basis of dentistry. » 3rd ed. Maryland Heights, MO: Mosby; 2011.

Maret, Delphine, Ove A. Peters, Antoine Galibourg, Jean Dumoncel, Rémi Esclassan, Jean-Luc Kahn, Michel Sixou, et Norbert Telmon. « Comparison of the Accuracy of 3-Dimensional Cone-Beam Computed Tomography and Micro–Computed Tomography Reconstructions by Using Different Voxel Sizes ». J Endod. 2014;40(9):1321-26.

Matalová, Eva, Vlasta Lungová, et Paul Sharpe. « Development of Tooth and Associated Structures ». In Stem Cell Biology and Tissue Engineering in Dental Sciences, 335-46. Elsevier ; 2015. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397157-9.00030-8.

Nardi, Cosimo, Claudia Borri, Francesco Regini, Linda Calistri, Alessandro Castellani, Chiara Lorini, et Stefano Colagrande. « Metal and Motion Artifacts by Cone Beam Computed Tomography (CBCT) in Dental and Maxillofacial Study ». Radiol Med. 2015;120(7):618-26.

Nassif, Ali, Ibtisam Senussi, Fleur Meary, Sophia Loiodice, Dominique Hotton, Benoît Robert, Morad Bensidhoum, Ariane Berdal, et Sylvie Babajko. « Msx1 Role in Craniofacial Bone Morphogenesis ». Bone. 2014;66:96-104.

Nefussi, J-R. « Entité fonctionnelle odontologique au cours du déplacement orthodontique. » In Orthopédie dento-faciale : une approche bioprogressive. Lejoyeux E., Paris : Quintessence Internationale ; 2000. Chapitre 6:119-51.

Nefussi, J-R. « Biologie et physiologie du volume osseux implantable. ». Encycl Méd Chir - Médecine Buccale. 2011;6(6):1-14 [28-815-M-01].

Nefussi, J-R. « Le Volume Osseux Résiduel Après Extraction Dentaire Est-Il Prédictible ? » In L'implantologie chirurgicale et prothétique : La pratique au quotidien., 102-21. Paris: Espace ID; 2018.

Nemtoi, A, Oana Ladunca, Eliza Dragan, C Budacu, C Mihai, et Danisia Haba. « Quantitative and Qualitative Bone Assessment of the Posterior Mandible in Patients with Diabetes Mellitus : A Cone Beam Computed Tomography Study »; 2014 .

Nowak, R., et G. Mehlis. « Studies on the state of pneumatization of the sinus maxillaris ». Anat Anz. 1975;138(3): 143-51.

Peters, H., et R. Balling. « Teeth. Where and How to Make Them ». Trends in Genetics: TIG 15. 1999;(2):59-65.

Ramanathan, Anand, Thekkeparambil Chandrabose Srijaya, Prema Sukumaran, Rosnah Binti Zain, et Noor Hayaty Abu Kasim. « Homeobox Genes and Tooth Development: Understanding the Biological Pathways and Applications in Regenerative Dental Science ». Arch Oral Biol. 2018;85:23-39.

Sadek, Mais M., Noha E. Sabet, et Islam T. Hassan. « Alveolar Bone Mapping in Subjects with Different Vertical Facial Dimensions ». Eur J Orthod. 2015;37(2):194-201.

Santini, A., et I. Alayan. « A Comparative Anthropometric Study of the Position of the Mental Foramen in Three Populations ». Br Dent J. 2012;212(4):E7-E7.

Schindelin, Johannes, Ignacio Arganda-Carreras, Erwin Frise, Verena Kaynig, Mark Longair, Tobias Pietzsch, Stephan Preibisch, et al. « Fiji: An Open-Source Platform for Biological-Image Analysis ». Nature Methods. 2012;9(7):676-82.

Schropp, Lars, Ann Wenzel, Lambros Kostopoulos, et Thorkild Karring.. « Bone Healing and Soft Tissue Contour Changes Following Single-Tooth Extraction: A Clinical and Radiographic 12-Month Prospective Study ». Int J Periodontics Restorative Dent. 2003;23(4):313-23.

Shapiro, R., et S. Schorr. « A Consideration of the Systemic Factors That Influence Frontal Sinus Pneumatization ». Invest Radiol. 1980;15(3):191-202.

Sharan, Arbel, et David Madjar. « Maxillary Sinus Pneumatization Following Extractions: A Radiographic Study ». Int J Oral Maxillofac Implants. 2008;23(1):48-56.

Sharpe, P. T. « Homeobox Genes and Orofacial Development ». Connect Tissue Res. 1995;32(1-4):17-25.

Simon, Y., Ariane Berdal, et J-R. Nefussi. « Cephalometric assessment of craniofacial dysmorphologies in relation with Msx2 mutations in mouse ». Orthod Craniofac Res. 2014;17(2):92-105.

Smajilagić, Amer, et Faruk Dilberović. « Clinical and anatomy study of the human mental foramen ». Bosn J Basic Med Sci. 2004;4(3):15.

Smith, Moya M., et Brian K. Hall. « Development and Evolutionary Origins of Vertebrate Skeletogenic and Odontogenic Tissues ». Biological Reviews. 1990;65(3):277-373.

Stock, David W. « The Genetic Basis of Modularity in the Development and Evolution of the Vertebrate Dentition ». Édité par T. Schilling et S. Wilson. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences. 2001;356(1414):1633-53.

Ten Cate, A. R., et C. Mills. « The Development of the Periodontium: The Origin of Alveolar Bone ». Anat Rec. 1972;173(1):69-77.

Thesleff, I. « Homeobox Genes and Growth Factors in Regulation of Craniofacial and Tooth Morphogenesis ». Acta Odontol Scand. 1995;53(3): 129-34.

Watanabe, Hiroshi, Momin Mohammad Abdul, Tohru Kurabayashi, et Hideki Aoki.. « Mandible Size and Morphology Determined with CT on a Premise of Dental Implant Operation ». Surg Radiol Anat. 2010;32(4):343-49.

Webber, Tracy, Shaun P. Patel, Michael Pensak, Olukemi Fajolu, Tamara D. Rozental, et Jennifer Moriatis Wolf. « Correlation Between Distal Radial Cortical Thickness and Bone Mineral Density ». J Hand Surg 2015;40(3):493-99.

Zhang, Wenjian, Justin Tullis, et Robin Weltman.. « Cone Beam Computerized Tomography Measurement of Alveolar Ridge at Posterior Mandible for Implant Graft Estimation ». J Oral Implantol 2014;41(6):e231-37.

Les opinions émises dans les dissertations présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, sans aucune approbation ni improbation de la Faculté de Chirurgie Dentaire.

HASSAN Chalom Jeremy. Recherche de paramètres de prédictibilité de la maintenance osseuse mandibulaire sur une population de patients dentés. 2019. 62 p. : ill., tabl. Réf. Biblio. : 58 - 61

Sous la direction du Professeur NEFUSSI Jean Raphaël

Th : Chir Dent. : Paris 7 : année 2019

RESUME en français :

De nos jours, de plus en plus de thérapeutiques de régénération osseuse voient le jour afin de palier à la résorption du squelette dento-alvéolaire des maxillaires. Ces techniques ingénieuses et sophistiquées sont indispensables. Cependant, à une époque où l'individualisation des soins est mise en avant, il est nécessaire d'intégrer au sein de ces traitements un paramètre essentiel : le potentiel biologique du patient. Cette étude se limite à la mandibule, et a pour objectif la recherche de paramètres morphométriques permettant d'évaluer ce potentiel à l'aide de mesures précises sur des radios CBCT. Des modèles d'équations de prédictibilité de la maintenance osseuse ont pu être émis avec des résultats très encourageants. Cette étude pilote s'annonce prometteuse, car elle peut orienter avec l'arrivée du « Big Data » l'analyse de cohortes beaucoup plus importantes afin d'aboutir à des résultats qui changeront le paradigme actuel. Notre médecine de « masse » pourra alors évoluer et s'orienter vers une médecine individualisée prenant en compte le potentiel biologique de la personne traitée.

TITRE en anglais : Research for mandibular maintenance's predictability parameters in a population of toothed patients

---

DISCIPLINE : Science biologique

MOTS-CLES Français : Mandibule (FMeSH), Extraction Dentaire (FMeSH), Tomodensitométrie à faisceau conique (FMeSH), Mâchoire (FMeSH), CBCT, Os Alvéolaire, Prédictibilité, Mesures Radiographiques

MOTS-CLES Anglais: Mandible (MeSH), Tooth Extraction (MeSH), Cone Beam Computed Tomography (MeSH), Jaw (Mesh), CBCT, Alveolar Bone

---