



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

ACADÉMIE DE NANCY-METZ
UNIVERSITÉ DE LORRAINE
FACULTÉ D'ODONTOLOGIE DE NANCY

ANNEE 2018

N°10162

THÈSE

Pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Par

Adrien Calafat

Né le 21 avril 1988 à Luxembourg

Les soulevés de sinus par voie latérale : Suivi radiographique

Présentée et soutenue publiquement le 13 février 2018

Examineurs de la thèse :

| | | |
|---------------------|--|-------------|
| Pr P. AMBROSINI | Professeur des Universités | Président |
| <u>Dr J. PENAUD</u> | <u>Maître de Conférences des Universités</u> | <u>Juge</u> |
| Dr D. JOSEPH | Maître de Conférences des Universités | Juge |
| Dr S. Clerc | Assistant Hospitalo-universitaire | Juge |
| Dr M. WADOUX | Docteur en chirurgie Dentaire | Juge |

Par délibération en date du 11 décembre 1972,
la faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que
les opinions émises dans les dissertations
qui lui seront présentées
doivent être considérées comme propres
à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner
aucune approbation ni improbation.

Président : Professeur Pierre MUTZENHARDT
Doyen : Professeur Jean-Marc MARTRETTE
Vice-Doyens : Dr Céline CLEMENT – Dr Rémy BALTHAZARD – Dr Anne-Sophie VAILLANT

Membres Honoraires : Dr L. BABEL – Pr. S. DURIVAUX – Pr A. FONTAINE – Pr G. JACQUART – Pr D. ROZENCWEIG - Pr ARTIS - Pr M. VIVIER

Doyens Honoraires : Pr J. VADOT, Pr J.P. LOUIS

Professeur émérite : Pr M-P FILLEUL

| | | |
|---|----------------------------------|---|
| Département Odontologie pédiatrique Sous-section 56-01 | Mme <u>DROZ Dominique</u> | Maître de Conférences * |
| | Mme JAGER Stéphanie | Maître de Conférences * |
| | M. PREVOST Jacques | Maître de Conférences |
| | Mme HERNANDEZ Magali | Maître de Conférences Associée * |
| | M. LEFAURE Quentin | Assistant |
| | M. MERCIER Thomas | Assistant * |
| Département Orthopédie dento-faciale Sous-section 56-01 | Mme DARSAT Claire | Assistante* |
| | M. <u>EGLOFF Benoît</u> | Maître de Conférences * |
| | Mme GREGOIRE Johanne | Assistante |
| Département Prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale Sous-section 56-02 | Mme <u>CLÉMENT Céline</u> | Maître de Conférences * |
| | M. BAUDET Alexandre | Assistant * |
| | Mme NASREDDINE Greyce | Assistante |
| Département Parodontologie Sous-section 57-01 | M. <u>AMBROSINI Pascal</u> | Professeur des Universités * |
| | Mme BISSON Catherine | Maître de Conférences * |
| | M. JOSEPH David | Maître de Conférences * |
| | M. PENAUD Jacques | Maître de Conférences |
| | M. LACH Patrick | Assistant |
| | Mme MAYER-COUPIN Florence | Assistante |
| Département Chirurgie orale Sous-section 57-01 | Mme PAOLI Nathalie | Enseignante univ. – Praticien attachée* |
| | Mme <u>GUILLET-THIBAUT Julie</u> | Maître de Conférences * |
| | M. BRAVETTI Pierre | Maître de Conférences |
| | Mme PHULPIN Bérengère | Maître de Conférences * |
| | M. CLERC Sébastien | Assistant* |
| | M. HASNAOUI Nasr | Assistant |
| Département Biologie orale Sous-section 57-01 | Mme KICHENBRAND Charlene | Assistante * |
| | M. <u>YASUKAWA Kazutoyo</u> | Maître de Conférences * |
| | M. MARTRETTE Jean-Marc | Professeur des Universités * |
| Département Dentisterie restauratrice, endodontie Sous-section 58-01 | Mme EGLOFF-JURAS Claire | Assistante* |
| | M. <u>MORTIER Éric</u> | Maître de Conférences * |
| | M. AMORY Christophe | Maître de Conférences |
| | M. BALTHAZARD Rémy | Maître de Conférences * |
| | M. ENGELS-DEUTSCH Marc | Maître de Conférences |
| | M. VINCENT Marin | Maître de Conférences* |
| | Mme GEBHARD Cécile | Assistante |
| | M. GEVREY Alexis | Assistant |
| Département Prothèses Sous-section 58-01 | M. GIESS Renaud | Assistant * |
| | M. <u>DE MARCH Pascal</u> | Maître de Conférences |
| | M. SCHOUVER Jacques | Maître de Conférences |
| | Mme VAILLANT Anne-Sophie | Maître de Conférences * |
| | Mme CORNE Pascale | Maître de Conférences Associée * |
| | M. CIESLAK Steve | Assistant |
| | M. GILLET Marc | Assistant |
| | M. HIRTZ Pierre | Assistant * |
| | M. KANNENGIESSER François | Assistant |
| Mme MOEHREL Bethsabée | Assistante* | |
| Département Fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux Sous-section 58-01 | M. VUILLAUME Florian | Assistant |
| | Mme <u>STRAZIELLE Catherine</u> | Professeur des Universités * |
| | Mme MOBY (STUTZMANN) Vanessa | Maître de Conférences * |
| | M. SALOMON Jean-Pierre | Maître de Conférences |
| Mme KARKABA Alaa | Assistante Associée | |

Souligné : responsable de département * temps plein

Mis à jour le 17/11/2017

REMERCIEMENTS

A notre président de thèse

Monsieur le Professeur Pascal AMBROSINI

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy I

Vice-Doyen au budget et aux affaires hospitalières

Habilité à diriger des recherches

Professeur des Universités

Responsable de la sous-section : Parodontologie

Vous nous avez fait l'honneur de présider et de juger ce travail.

Merci pour l'intérêt que vous avez porté à ce travail, pour vos conseils ainsi que pour votre disponibilité et votre sympathie dans le service de parodontologie. Nous nous souviendrons de la qualité de l'enseignement théorique et clinique que vous nous avez prodigué pendant nos années d'étude.

Veillez trouver l'expression de notre sincère gratitude et notre plus profond respect.

A notre juge et directeur de thèse

Monsieur le Docteur Jacques PENAUD

Docteur en Chirurgie Dentaire

Maitre de Conférences Universitaires Associé

Sous-section : Parodontologie

Nous apprécions l'honneur que vous nous avez fait en acceptant la direction de ce travail et de siéger au sein de ce jury.

Votre culture scientifique et votre savoir chirurgical, que vous partagez avec enthousiasme et dynamique chaque jour avec vos élèves est pour nous une source permanente d'apprentissage et d'admiration.

Puissiez-vous trouver ici le témoignage de notre gratitude et l'assurance de nos sentiments respectueux.

A notre juge

Monsieur le Docteur David JOSEPH

Docteur en Chirurgie Dentaire

Maitre de Conférences Universitaires Associé

Sous-section : Parodontologie

Nous vous remercions de nous faire l'honneur de juger ce travail.

Nous vous remercions pour votre pédagogie, votre disponibilité et votre sympathie que vous nous avez accordées dans l'élaboration de ce travail.

Nous vous sommes redevables pour l'aide que vous nous avez fournie.

Vos connaissances scientifiques, votre dextérité en chirurgie et la qualité de votre enseignement nous impressionneront toujours.

Puissiez-vous trouver ici le témoignage de notre gratitude et l'assurance de nos sentiments respectueux.

A notre juge

Monsieur le Docteur Sébastien Clerc

Docteur en Chirurgie Dentaire

Assistant Hospitalo-Universitaire

Sous-section : Chirurgie Orale

Nous vous remercions et apprécions l'honneur que vous nous faites en jugeant ce travail.

La chirurgie orale est indissociable de la parodontologie et de l'implantologie orale.

Nous apprécions l'étroite collaboration que les deux services ont su élaborer.

La renommée de votre équipe force l'admiration. Votre réputation, témoin de la qualité du travail que vous accomplissez au quotidien, nous impressionne.

Soyez certain de notre profonde estime.

A notre juge

Madame le Docteur Milena WADOUX

Docteur en Chirurgie Dentaire

Vous avez accepté de faire partie de ce jury avec spontanéité et nous vous en remercions.

Nous sommes honoré de vous compter dans notre jury.

Nous vous remercions également de votre aide, de votre disponibilité et de votre gentillesse dont vous avez fait preuve depuis le début de ce travail.

Veillez trouver dans ce dernier toute l'expression de notre gratitude.

A ma famille

A mon père et ma mère : Merci de m'avoir soutenu depuis mon plus jeune âge. Sans vous, je n'en serais pas arrivé là. Je vous remercie pour votre amour, votre éducation et votre détermination dans ma réussite. Je vous dédie cette thèse.

A ma mère : Maman, le chemin fût long et semé d'embûches jusqu'à aujourd'hui. Merci de t'être autant démenée pour moi pour que je réussisse. Si j'en suis là aujourd'hui, c'est grâce à tes efforts. Je ne te dirai jamais assez merci pour ce que tu as fait pour moi. Je mesure la chance de t'avoir eu comme génialissime maman. Je t'embrasse fort.

A mon père : Les grandes déclarations ce n'est pas notre fort, j'en profiterai donc aujourd'hui pour t'écrire ces quelques mots. J'ai eu la chance d'avoir un père qui sait tout faire et qui a la solution à toutes mes interrogations et tous mes problèmes. La reconnaissance quotidienne de tes patients, l'amour de ta famille et l'estime qui t'es portée dans notre passion commune témoignent de ton excellence. Merci de m'avoir laissé marcher dans tes pas depuis mon plus jeune âge et d'avoir été mon maître cynégétique. Je ne te remercierai jamais assez pour ta générosité infinie. Merci de m'avoir permis de t'accompagner dans tant d'endroits car nous savons tous les deux que les souvenirs ne s'achètent pas. J'espère te rendre fier. Je t'embrasse fort.

A mon frère Valentin : La gagne, l'excellence et la générosité en toutes circonstances. Merci pour ta bienveillance à mon égard et tous ces souvenirs d'enfance. Je salue ton parcours, ton charisme ainsi que ta réussite professionnelle et personnelle. Je suis fier de mon grand frère.

A Jessie : Merci pour tes précieux conseils de thèse. Félicitations pour ta carrière professionnelle impressionnante. Tu es une super maman et une belle-sœur redoutable.

A Maximilien et Félix : Merci pour vos sourires et votre joie de vivre au quotidien. J'espère vous voir grandir pour voir les hommes que vous allez devenir. J'aimerais partager tant de belles choses avec vous deux.

A Néné : Oh ma Néné ! Malgré toutes ces années, tu disposes encore et toujours d'une énergie incroyable. Un petit verre de champagne et te voilà partie pour faire la

fête avec moi jusqu'à cinq heures du matin .Merci d'avoir veillé sur tes petits-enfants et de leur avoir offert les plus beaux souvenirs.

A mes cousins et cousines pour tous nos souvenirs d'enfance

A mes oncles et mes tantes pour votre bienveillance et votre générosité.

A Dominique et François : Merci pour votre accueil chaleureux dans votre famille au Havre et pour toutes vos petites attentions à mon égard.

A Romain et Charlotte : Merci d'avoir été présents aujourd'hui et de m'avoir accepté dans le clan Vaudour.

A Louise : À toi ma moitié. Je mesure la chance de t'avoir rencontrée. Ton amour, ta générosité sans fin et ta confiance me donne envie d'avancer avec toi .Sache que je suis heureux à tes côtés depuis notre rencontre et que je tiens à toi. Chaque moment passé avec toi est un superbe souvenir .Tu es toujours prête à me surprendre, à m'écouter et à me soutenir pour embellir mon quotidien.

Je suis fier de ta détermination et de ton altruisme, en témoigne la grève des étudiants en dentaire que tu as menée d'une main de fer lors de ton mandat de présidente à la corpo de Reims.

Ton organisation hors paire, ta malice, ta générosité et ta complicité font de toi une belle personne.

Bébé, ne change pas!

Je t'aime.

Au Docteur Anastasio pour son enseignement prodigué et à venir : Merci chef pour les souvenirs en votre compagnie à l'ADF et lors du parcours Handicap'able. J'ai hâte de travailler avec vous.

Au Docteur Halbgewachs pour son enseignement et sa bonne humeur pendant les séances de M.E.O.P.A. Merci Laurence de m'avoir formé à ce soin spécifique.

Aux Docteurs Seckinger et Oswald

Au Docteur Mehbod

Au Docteur Saueressig

Au Docteur Vuillemin

Au Docteur Steil

A mes amis en dentaire.

A Simon : A toi mon petit frère, ami depuis les premières heures en dentaire. Personne ne me fait autant marrer que toi. Tu as la fibre de la déconnade ! Tu as toujours été là pour moi pendant les coups durs et je ne t'en remercierai jamais assez .Je sais que je peux compter sur toi à tout moment malgré tes nombreuses positions fœtales en soirée! Bravo pour ton parcours et ta détermination dans la profession. Je te souhaite le meilleur dans ta vie personnelle avec Justine et dans ta vie professionnelle avec **Thomas** et Jux. Sache que ton amitié compte énormément pour moi.

A Bascou : Je mesure la chance de t'avoir rencontré sur les bancs de la p2. Merci pour ta générosité et ta bienveillance en soirée .Des amis comme toi c'est pour la vie. T'es vraiment un mec en or malgré ton goût douteux pour les teintures de cheveux et tes séries de stepper à la salle de muscu! Ton mental de gagnant et ton sens de la chouille font de toi l'archétype du bringueur dans le top 10 de la promo. Bravo pour ton parcours et l'unité de mesure qui porte ton nom en dentaire. Je suis fier de toi.

A Justine ma BFF en dentaire : Malgré ton goût douteux pour les fringues et tes petits mollets de campeur, tu restes ma grande gueule préférée. Pour toutes ces soirées de chouille et de révisions qu'on a partagées jusqu'à l'aube et même après. Merci d'avoir été à mon écoute pendant toutes ces années, tes conseils m'ont été plus qu'indispensables. Je te souhaite le meilleur pour ta future vie dans les coins de Larochelle avec Pipo, Simon, et Thomas.

A Giaco : mon pote, ma biche! En un mot le charisme inné. Au premier abord tu peux paraître acide et grande gueule mais dans le fond tu es d'une gentillesse et loyauté infinies une fois qu'on te connaît! Je te remercie d'avoir été là pour moi pendant les coups durs en dentaire et de ta franchise en toute circonstance ! Ton amitié m'est plus qu'indispensable.

A Yo :A mon copilote de bringue et coexterne. Merci pour ta bonne humeur et ton humour à Verdun. Mes souvenirs avec toi à Prague, à Munich, à Amsterdam et aux

événements dentaires resteront gravés dans ma mémoire. Tu es la force tranquille, le buveur de bière selon les règles, la gentillesse incarnée, bon second à Street Fighters et la référence à Smash. J'espère que notre amitié va perdurer car elle en vaut la peine.

A Manon P, Clémence et Constance: Merci pour tous ces souvenirs en Espagne et au Crit.

A Manon T: Mimi d'amour, ces années dentaires sont passées trop vite en ta compagnie. J'ai eu le plaisir de partager tant de complicités et d'après café à ton appart et je t'en remercie! Tu as toujours été là pour moi. Ton amitié m'est chère. J'espère te revoir bientôt car tu me manques.

A Seb: A toi le baroudeur. On s'est rencontré sur le tard mais quelle rencontre ! Toujours prêt à endosser le rôle du doyen à ma place lors des bringues .Merci pour ces souvenirs de chouilles au Crit, au God, aux Wei et surtout au Congrès de Nancy et d'avoir accepté de faire spontanément partie de mon jury.

A Nathan: A toi le Bären Juden. Toujours prêt à nous faire partager ce que tu possèdes! Tu es la générosité incarnée et tu as le cœur sur la main. Merci pour tous ces moments forts en déconnade, d'amitié et de rire aux Wei, aux casinos ,aux nouveaux ans, aux Crits et au God

A Sarah Tak: A toi bijou, femme du monde invétérée .Tu me manques. Reviens nous vite.

A Bertrand: Tu es la locomotive du groupe ! Tu as toujours su exprimer tes connaissances avec une dextérité déconcertante. Ta réussite professionnelle et personnelle forcent l'admiration et ne m'étonnent guère. Je te remercie pour ces souvenirs à Prague où tu avais été incroyable. Je te souhaite le meilleur pour l'avenir en compagnie de ta moitié Elsa.

A Adri: Si déjà on a le prénom, la date de naissance et la profession en commun, je peux te t'assurer qu'on partage aussi le goût de la fête et de la camaraderie. Je te souhaite beaucoup de bonheur avec Caro et je te dis à très vite à Las Vegas.

A Marion: A toi ma filliotte de dentaire, tu es l'incarnation de la bonne ambiance et de la réussite dans les soirées. Toujours prête à faire un petit cul sec. Merci Mama

pour ton sens de la fête, ta bonne humeur et tous les coups que tu m'as payés dans ces sorties endiablées et dans les lieux de débauche nancéens. Tu es la fillotte de promo rêvée.

A Lison : Merci pour ta complicité en prothèse et ta joie de vivre en soirée. J'espère revoir ma binôme préférée dans l'est ou dans le sud très bientôt. Vous me manquez toi et Ja.

A Marteau : A Mon Parrain de Faluche. Merci de m'avoir pris sous ton aile pour faire découvrir les joies de la fête en dentaire. Nous nous sommes perdus de vue ces derniers temps et il faut que cela change. Ton amitié me manque.

A Mathieu : Le foie gras et le champ' n'a jamais été aussi bon qu'en ta compagnie lors des toutes premières gardes à Thionville. Je te souhaite que du bonheur avec Caro et j'ai hâte de travailler de nouveau avec toi.

A Morane mon coexternes à Thionville. Merci pour tous ces souvenirs au club ADF et soirées nancéennes.

A Choup, ma marraine de cœur et de faluche : Merci pour ces souvenirs de chouilles aux Monté, au club ADF, au mariage de l'Orf' et lors du parcours Handicap'Able. Ton coup de fourchette et ta descente restent légendaires. Tu es l'exception qui confirme la règle pour le dicton : « Loin des yeux, loin du cœur ».

A Michou: Je tiens à te remercier pour ta bonne humeur, ta gentillesse à mon égard et pour tes brunchs de lendemain de cuite. Toujours d'accord pour m'accueillir après les soirs de grandes soifs dans la chambre d'amis où Giaco et moi sommes VIP. Je te souhaite bonne chance à toi et Bascou pour votre périple à La Réunion ou j'essayerai de venir vous voir.

A Elise Grandidier: A ma fillotte de Faluche. Tu es un rayon de soleil dans mes soirées, c'est un réel plaisir de s'occuper de toi. Toujours prête à te dévouer pour que Loulou et moi passions une bonne soirée. Ton parcours irréprochable dans tes études ainsi que ta maturité malgré ton jeune âge, force l'admiration. Je suis fier de toi.

A Mathias et Toto: Les mecs, notre rencontre en dentaire fut une réelle réussite. Merci pour ces souvenirs aux événements en dentaire, à Bayonne et à la chasse. Une chose est sûre, vous descendez mieux les cannettes en soirée que les plateaux au Ball Trap.

A Cécile : A toi petit dragon blanc aux yeux bleus. Merci pour ces souvenirs de bringues au Crit, à Bayonne et au God.

A Clotilde et Leati pour tous ces souvenirs en dentaire, à Bayonne et au Crit.

A Ouali :A toi l'Alpha, mon premier pote de fac en dentaire. Merci pour ton aide en mécanique automobile un soir d'hiver devant la Fac de dentaire.

A Cipo, Gaéta, Lucas, Jules et Valentin Thomas pour ces souvenirs de bringues dans la meute.

A Marine pour son dévouement dans l'organisation du Crit de cette année.

A Fabien : Je suis ravi d'avoir fait ta connaissance mon grand. Merci de m'avoir accueilli à Reims. Nos sorties au Gin et à l'Ernest se multiplient dernièrement et c'est toujours un plaisir. T'es un mec en or et un homme à femmes, cela ne fait aucun doute.

A Pépé : Merci pour ton accueil, ta gentillesse et ta complicité à Reims. Merci d'être venu me soutenir aujourd'hui.

A Gautier, Marine Jallu, Jerem, Doudou, Maxence et Baston pour ces soirées parisiennes à l'ADF et péniches rémoises mémorables.

A Adrian, l'actuel président de l'A.E.C.D.R : Merci de m'avoir accueilli à Reims. Je salue ta rigueur dans ta corpo et dans tes études. Sache que je t'estime.

A mes amis luxembourgeois

A Yannick : A mon pote d'enfance et confident. Merci pour tous ces souvenirs à l'Amnésia, au Sins et à la Trombar. Après 15 ans d'amitié à écumer les bars, c'est toujours un plaisir de passer du temps avec toi. Je suis fier de ta réussite professionnelle où tu prouves tous les jours que tu es un battant. Je ne te souhaite que du bonheur avec **Catia**.

A Marc :A toi Bro, merci pour ton amitié sincère et tes discussions philosophiques durant toutes ces années. Toujours à l'écoute et de bon conseil. Sache que je serai toujours là pour toi.

A Alex :A toi vieux, on a tellement partagé de moments fort ensemble que je n' imagine pas ma future vie sans ton amitié. La façon dont tu as surmonté les derniers événements dans ta vie, impose le respect. Je te souhaite le meilleur avec Sarah ainsi que dans ta vie professionnelle.

A Yann, Cédric et Valé pour nos soirées et Schlackech's à Trèves, Arlon et Luxembourg. Vos carrières respectives forcent l'admiration. J'ai hâte de partir à Prague et de profiter du jacuzzi sur la terrasse de Cédric avec vous.

A Jeremy : Merci d'avoir été là pour moi pendant toutes ces années. Je sais que je peux compter sur toi en toutes circonstances et que notre amitié est inébranlable.

A Kevin mon pote de maternelle.

A Charel mon pote pilote de ligne et déconneur invétéré en soirée.

A mes compagnons de chasse :

A Pierrot, Bruno, Claude, François, Jean Christophe et Philippe pour leurs invitations multiples et vos conseils en tant que directeurs de chasse.

A Yoyo, Maria, Gene et Patricia pour votre gentillesse et votre amitié.

A Patrick Peporte mon ami chasseur luxembourgeois. Merci pour cette soirée hongroise où nous avons refait le monde à la lueur de la pleine lune.

A David pour ses conseils et sa vision en matière de chasse.

A Robert, mon grand-père de Traque. Merci de m'avoir pris sous ton aile et appris tant de choses.

A Gérard, Jean Claude et Gaby pour m'avoir enseigné l'art de la traque.

A Thomas, Hubert et Xavier pour nos passes aux canards et nos moments arrosés au Noll.

Les soulevés de sinus par voie latérale :

Suivi radiographique

Sommaire :

Liste des tableaux

Listes des figures

1. Revue de la littérature et résultats
2. Matériel et méthode
3. Résultats
4. Difficultés rencontrées et discussion
5. Exemple de cas
6. Protocole proposé
7. Conclusion

Références bibliographiques

Table des matières

Listes des figures :

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Sinus gauche. Indication de soulevé de sinus | 1 |
| Figure 2 : Biopsie osseuse après avoir été retirée du foret de trephine. La marque à l'encre noire montre le côté apical de la biopsie (flèche) (35)..... | 9 |
| Figure 3:Chronologie des examens radiographiques CBCT chez un même patient | 17 |
| Figure 4: Sironna® Orthophos XG 3D | 18 |
| Figure 5: programme Sidexis 4®..... | 19 |
| Figure 6 : CBCT T0..... | 19 |
| Figure 7 : CBCT T1..... | 19 |
| Figure 8 : CBCT T2..... | 20 |
| Figure 9 : Délimitation comblement..... | 20 |
| Figure 10 : création du volume isolé à partir de la somme des aires | 21 |
| Figure 11 : Mesure du volume en mm ³ dans le logiciel 3D Slicer..... | 22 |
| Figure 12: Recalage d'image rigide en superposant les coupes du CBCT T1 (cadre bleu) avec les coupes du CBCT T2 (cadre rouge). | 23 |
| Figure 13 : Recalage d'image par translation antéropostérieure sur coupes sagittales entre les CBCT T1 et T2. | 23 |
| Figure 14 : Mesures millimétriques en hauteur sur le CBCT T2 après le recalage d'image ... | 24 |
| Figure 15 : dosimétrie de l'appareil radiologique Sironna Orthophos XG 3D® | 30 |
| Figure 16: Position correcte du crane centré dans les différents champs d'acquisition A. champ de 5x5.5 cm B. champ de 8x5.5 cm et C.8x8cm | 32 |
| Figure 17: Dosimétrie de l'appareil radiologique Sironna Orthophos XG 3D® ; Mode HD | 33 |
| Figure 18 : Positionnement du patient dans l'appareil radiologique Sironna Orthophos XG 3D® | 34 |
| Figure 19 : ATLAS DE RADIOLOGIE DENTAIRE ; PASLER ET VISSER : Plan de Frankfort (ligne rouge) ; Plan de Camper (ligne jaune) ; Plan occlusal (ligne verte) ; plan horizontale (ligne noire)..... | 35 |
| Figure 20: ATLAS DE RADIOLOGIE DENTAIRE ; PASLER ET VISSER Positionnement de la tête du patient ; A. Vue sagittale B. Vue frontale ; Plan de Camper (ligne jaune) ; Plan occlusal (ligne verte) ; plan horizontale (ligne noire) ; Plan frontal (ligne rouge)..... | 35 |
| Figure 21:Crâne en position centrée dans le champ d'acquisition (rouge). Vue sagittale | 36 |
| Figure 22: A. Crane en position centrée dans l'appareil radiologique type CBCT B. Crâne avec une inclinaison antéropostérieur C. Crâne avec de multiples inclinaisons D. Crâne en position non-centrée dans l'appareil radiologique type CBCT (62). | 36 |
| Figure 23 : Images tridimensionnelles de tomographie par faisceau conique correspondant à 5 positions de tête. A. Position normale (plan frontale). B. Position normale (plan sagittal). C. Position normale (plan axial). D. Inclinaison de cinq degrés vers la gauche. E. Extension de cinq degrés. F. Rotation de cinq degrés vers la gauche. G. Flexion à cinq degrés(63). | 37 |
| Figure 24: Erreur de positionnement de la tête dans le plan sagittal .A. Tête en hyperextension B. Tête en hyperflexion..... | 38 |
| Figure 25:Erreurs de positionnement du crane à l'intérieur du champ d'acquisition (rouge). Vue sagittale A. Crane en extension B. Crane en flexion | 38 |
| Figure 26 : Centreurs lumineux pour délimitation du volume..... | 39 |
| Figure 27:Réglage de la tête du patient selon le plan occlusal..... | 40 |

| | |
|---|----|
| Figure 28 : Recalage d'images rigide ; sens du recalage (flèches vertes), distance de recalage (ligne jaune) ; points de références (points rouges) ; cadre rouge (CBCT T1), cadre bleu (CBCT T2)..... | 41 |
| Figure 29 : Recalage d'images rigide avec application de la transformation T (rouge) au CBCT T1 | 42 |
| Figure 30:Gouttières avec boule en céramique(64)..... | 44 |
| Figure 31 : Acquisition des données et reconstruction d'un modèle dentaire avant chirurgie (A et B) et après chirurgie(C et D). Modèles en plâtre (A et C) ; modèles virtuels avec repères. (Uechi et al. 2006)(64)..... | 44 |
| Figure 32 : Description des repères anatomiques dans les 3 plans de l'espace(70). | 47 |
| Figure 33 : Points de mesure (points noirs) et établissement d'un système de coordonnées sur un modèle en plâtre(72). | 48 |
| Figure 34 :Le modèle en trois dimensions numérisé. Le modèle numérique et le modèle en plâtre utilisant le même système de coordonnées (72). | 49 |
| Figure 35 : La région de référence palatine utilisée pour la superposition(72). | 49 |
| Figure 36 : Sélection de 12 points de référence considérés comme stables au palais (74)... | 49 |
| Figure 37 :Adjonction de points de référence à l'aide d'un stylet relié à un ordinateur(73). ... | 50 |
| Figure 38: Effet miroir d'une partie de la base du crane à partir d'une d'un plan arbitraire suivie d'une approche de recalage de la base crânienne.(A) modèle virtuel originale de la base du crane du patient (couleur blanche) et modèle arbitrairement reflété(violet) (B) Résultat de la correspondance entre les modèles original et arbitrairement reflété suite à un recalage d'image basé sur l'intensité de gris des voxels. (C) , la carte de couleur de la distance entre les surfaces des modèles original et arbitrairement reflété s'élevant à 0mm (couleur verte)(67). | 51 |
| Figure 39 : Structures anatomiques utilisées pour les superpositions de modèles 3D de sujets non en croissance. A. Modèles de base crânienne avant traitement d'image, B. modèles de base crânienne en post-traitement d'image. C, le modèle en B a été utilisé pour masquer toutes les structures anatomiques qui ont changé avec le traitement d'image et générer une image de niveau de gris ne contenant que la fosse crânienne pour le calcul des paramètres de recalage. D, Calcul entièrement automatisé des paramètres de rotation et de translation entre les images (81). | 52 |
| Figure 40 : Superposition et conformité de la base crânienne. A. Modèle de la base crânienne prétraitement en blanc et modèle de la base crânienne post-traitement en rouge. B. recalage d'images des bases crâniennes pré et post-traitement basé sur la reconnaissance de niveau de gris des voxels C. Carte de couleur. En vert la distance de 0mm entre les surfaces des modèles enregistrés pré et post-traitement(81). | 53 |
| Figure 41:Structures anatomiques utilisées pour les superpositions de modèles 3D de sujets en croissance. La région de la fosse crânienne antérieure du modèles 3D de la base du crâne a été utilisée pour l'enregistrement après traitement. A montre la vue supérieure et B la vue inférieure(81)..... | 53 |
| Figure 42:Structures anatomiques utilisées comme zones d'enregistrement pour le recalage d'image sur les modèles 3D issus de CBCT. (A) Base crânienne antérieure. (B) Arcade zygomatique gauche(84). | 54 |
| Figure 43:Correspondance par transparence des modèles 3D CBCT superposés. Vue frontale (A) modèles enregistrés sur la base crânienne antérieure. (B) Mêmes modèles enregistrés sur l'arc zygomatique gauche(84)..... | 54 |

| | |
|---|----|
| Figure 44:Correspondance par transparence des modèles 3D CBCT superposés. (A) modèles enregistrés sur la base crânienne antérieure. Vue de gauche (B) Mêmes modèles enregistrés sur l'arc zygomatique gauche(84)..... | 55 |
| Figure 45:Cartes de distance codées par couleur pour visualiser les différences à la suite de deux superpositions des CBCT. La couleur verte indique que le modèle superposé est devant le modèle original et que la couleur rouge indique le contraire. Chaque graduation de couleur est de 1 mm.(A)modèles enregistrés sur la base crânienne antérieure. (B) mêmes modèles enregistrés sur l'arcade zygomatique gauche(84)..... | 55 |
| Figure 46 :A. Vue axiale et sagittale de deux CBCT avant superposition B. Vue axiale et sagittale de deux CBCT après superposition. Les flèches jaunes indiquent la correspondance entre les images gris et rouges. Les flèches blanches indiquent la zone de non concordance lors de la superposition résultant de la pose de l'implant et de la greffe osseuse(80)..... | 57 |
| Figure 47 : Zones d'intérêt mesurées et carte à code de couleur allant de 0,4 à 0,4 mm. (A) Vue latérale du maxillaire; (B) vue latéro-inférieure du maxillaire; (C) vue antérieure du maxillaire(80)..... | 57 |
| Figure 48. Vues sagittales(A) et axiales (B) du maxillaire avant superposition, et mêmes vues sagittales (C) et axiales (D) après la superposition maxillaire. Notez que dans la zone du maxillaire, les images T1 et T2 correspondent, alors qu'à la mandibule non (flèches blanches)(80)..... | 57 |
| Figure 49 : Logiciel Sidexis®..... | 59 |
| Figure 50 : Planification implantaire sur logiciel Simplant®..... | 60 |
| Figure 51: Logiciel Simplant®..... | 61 |
| Figure 52 : Réorientation du Crâne (volume) dans le plan de coupe ; champ d'acquisition (rouge) et plan de coupe en (vert)..... | 64 |
| Figure 53 : Expérience des cylindres ; les deux cylindres sont identiques en hauteur et diamètre..... | 64 |
| Figure 54 : Expérience des cylindres ; en rouge (plan de coupe) ; à gauche le plan de coupe est parallèle à la base du cylindre ; à droite le plan de coupe fait un angle de 45° avec l'horizontale (base du cylindre)..... | 65 |
| Figure 55 : Expérience des cylindres : coupes des cylindres..... | 65 |
| Figure 56 : Expérience des cylindres : vue arienne des coupes des cylindres. Les deux coupes sont différentes. Le recalage de celles-ci est impossible..... | 66 |
| Figure 57 : Exemple d'un cas utilisé comme Gold Standart. (A) CBCT d'origine. (B) Même CBCT du patient réorienté vers une position spatiale différente. (C) Coupes de reconstruction multiplanaires montrant le CBCT original (gris) et le CBCT réorienté (rouge) avant superposition. (D) Coupes montrant à la fois le CBCT après superposition à la base crânienne antérieure (83)..... | 67 |
| Figure 58 : Délimitation du comblement (couleur beige) à main levée sur coupe sagittale. Limite invisible entre le comblement ossifié et l'os basal du plancher sinusien (cercle rouge). | 69 |
| Figure 59 : Partie du sinus non inclus (surface hachurée en orange) dans le champ d'acquisition du CBCT T1 (cadre bleu).Partie du sinus inclus dans le champ d'acquisition (surface hachurée en vert). Champ d'acquisition du CBCT T2 (cadre rouge). | 71 |
| Figure 60 : Chronologie des examens radiographiques CBCT chez un même patient..... | 77 |
| Figure 61 : Exemple des évaluations des résorptions du matériau de comblement aux niveaux intrasinusien et intrabuccal. A. CBCT T1 ; B. CBCT T3..... | 87 |

| | |
|---|----|
| Figure 62 : Apport osseux : 1 : greffe osseuse de surélévation..... | 87 |
|---|----|

Liste des tableaux :

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Matériaux de comblement..... | 2 |
| Tableau 2: Substituts osseux d'origine biologique..... | 5 |
| Tableau 3 : Substituts osseux d'origine synthétique..... | 6 |
| Tableau 4: études sur l'évaluation de la résorption ou réduction en volume du comblement à l'aide de l'imagerie 3D..... | 11 |
| Tableau 5 : Les différentes tailles de champ d'acquisition sur l'appareil radiologique Sironna Orthophos XG 3D®..... | 31 |
| Tableau 6 : Liste non exhaustive d'études utilisant différents marqueurs anatomiques. | 46 |
| Tableau 7 : Mesures du matériau de comblement à T2 en mm :..... | 73 |
| Tableau 8 : Mesure du comblement à T1..... | 74 |
| Tableau 9 : Incorporation de l'étude prospective dans la prise en charge du patient..... | 78 |

Liste des Annexes:

| | |
|--|----|
| Annexe 1 : Courrier postale..... | 89 |
| Annexe 2 : Protocole standardisé de réalisation des examens radiologiques 3D Type CBCT pour l'étude..... | 90 |
| Annexe 3: Fiche de renseignement lors de la chirurgie de soulevé de sinus par voie latérale..... | 91 |
| Annexe 4 : Fiche de renseignement lors de la chirurgie et pose implantaire..... | 92 |

1 Revue de la littérature et résultats

1.1 Généralités

La perte de dents dans les secteurs postérieurs maxillaires mène souvent à une résorption osseuse et augmente la pneumatisation du sinus maxillaire(1) (Figure 1). La diminution de la hauteur, largeur et qualité de la crête alvéolaire induite par ces deux phénomènes, rend la pose d'implants endo-osseux difficile voir parfois impossible (Figure1). Pour palier à cette difficulté, le remodelage de la crête alvéolaire s'impose afin de faciliter la mise en place des implants. De nombreuses techniques chirurgicales ont été décrites dans la littérature afin d'augmenter le volume osseux de la crête alvéolaire, tel que la greffe osseuse interpositionnelle suite à une chirurgie LeFort de type 1, les greffes d'apposition ainsi que les soulevés de sinus(2)(1).



Figure 1 : Sinus gauche. Indication de soulevé de sinus

1.2 Les soulevés de sinus

Le soulevé de sinus par l'élévation de la membrane de Schneider est une procédure chirurgicale courante. Elle est utilisée pour augmenter la hauteur de l'os résiduel entre la crête et le plancher sinusien dans le maxillaire édenté postérieur permettant une réhabilitation implantaire (3). Il existe deux techniques de soulevé de sinus qui se

différentient par leur abord chirurgical. La première décrite par Tatum en 1975, consiste à réaliser une voie d'abord chirurgicale avec découpe d'un volet osseux dans la paroi latérale du sinus maxillaire pour réaliser la greffe osseuse. Elle porte le nom de soulevé de sinus par voie latérale. La seconde technique chirurgicale, décrite par Summer en 1994, permet un abord crestal par ostéotomes pour préparer à la mise en place du greffon. Elle porte le nom de soulevé de sinus par voie crestale.

Bien que cette dernière technique soit moins invasive, nous avons décidé d'étudier la technique de soulevé de sinus par voie latérale, offrant une augmentation de volume osseux plus importante pour les futures mesures(4)(5)(6).

1.3 Les matériaux de comblement

Au cours d'un soulevé de sinus, différents matériaux de comblement peuvent être utilisés pour augmenter la hauteur et largeur de la crête alvéolaire.

Les matériaux de comblement peuvent être classés en fonction de leur provenance en quatre groupes : allogénique, xénogénique, alloplastique et autogénique. (Tableau 1)

Tableau 1 : Matériaux de comblement

| | Matériaux de comblement | | | |
|---------------------|---|---|--------------------------------|--|
| Dénomination | Allogéniques | Xénogéniques | Alloplastiques | Autogéniques |
| Provenance | produits osseux d'origine humaine, prélevés sur un autre individu | produits osseux d'origine non-humaine, prélevés sur un Individu d'une espèce différente | produits d'origine synthétique | produits osseux d'origine humaine, prélevés sur le même individu |
| Catégorie | Substituts osseux | | | Os autogène (os du patient) |
| Grefe | Allogrefe | Xénogrefe Ou hétérogrefe | Grefe alloplastique | Autogrefe |

Toutefois les avis de nombreux auteurs divergent dans la littérature au sujet du matériau de comblement optimal qui pourrait assurer le meilleur succès implantaire(7) .

1.3.1 L'os autogène

L'os autogène est prélevé sur le patient au niveau d'un site donneur et utilisé comme matériau de comblement lors du soulèvement de sinus chez ce même patient. Il peut être prélevé et utilisé sous formes de blocs ou de particules lors d'une autogreffe. Il ne fait donc pas partie de la catégorie des substituts osseux. (tableau1)

Il est considéré comme une référence parmi les matériaux de comblement utilisés dans les greffes osseuses au cours de soulèvement de sinus(8)(9).Il peut être prélevé sur de multiples sites comme par exemple : la branche montante de la mandibule, la symphyse mandibulaire, la tubérosité maxillaire, la crête iliaque ou l'os pariétal(10). L'os autogène possède des caractéristiques ostéogéniques, ostéoinductrices et ostéoconductives.Il présente de nombreux avantages comme sa résistance aux infections, sa tolérance immunologique ou son taux d'ossification important. Toutefois l'os autogène présente un désavantage majeur. Le prélèvement à distance des sites donneurs impose un deuxième site opératoire augmentant le taux de morbidité pour le patient(11)(12). Les risques œdémateux, infectieux et hémorragiques sont majorés. La recherche d'une alternative appropriée à la greffe d'os autogène est à l'origine, ces dernières années, de l'apparition de nombreux matériaux de comblements ou substituts osseux.

1.3.2 Les substituts osseux

Les substituts osseux à l'os autogène sont des matériaux de comblement dont l'origine osseuse n'appartient pas au patient (Tableau 1). Ils peuvent être classés selon leur origine ou selon le type de greffes auquel ils donnent leur nom.

En fonction de leur origine biologique, les greffes osseuses seront allogéniques ou xénogéniques lors de soulevé de sinus (Tableau 2).

Pour les substituts osseux d'origine synthétique, les greffes sont dites alloplastiques (Tableau 3).

Tout substitut osseux peut être utilisé entant que tel ou comme supplément mélangé à de l'os autogène lors de la greffe (13)(7)(14)(15)(16).Ce type de mélange de matériaux lors d'un soulevé de sinus à pour but d'allier l'ostéoinduction et l'ostéogenèse de l'os autogène à l'ostéoconductivité du substitut osseux. A ce jour, il n'existe pas de substitut osseux disponible sur le marché qui soit égal à l'os autogène en termes d'ostéoinduction. Le substitut osseux n'est qu'un treillis ou une matrice, support de la néoformation osseuse à partir des cellules du patient .Il sert de support à la colonisation cellulaire et à l'envahissement du greffon par un réseau vasculaire. Les substituts osseux sont donc ostéoconducteurs lors du processus de cicatrisation osseuse(17)(18).

Tableau 2: Substituts osseux d'origine biologique

| Substituts osseux | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| Origine biologique | | | | | |
| Dérivé corallien | Dérivés osseux | | | | |
| Grefe Xénogénique Os d'origine animale | Grefe Xénogénique Os d'origine animale | Grefe Allogénique Os d'origine humaine | | | |
| Squelette de corail composé d'argonite (carbonate de Calcium en phase cristalline) | Os de mammifères (ex bovin, porc, cheval, mouton) | Os frais et congelé | Os lyophilisé et congelé (FDBA) | Os lyophilisé, congelé et déminéralisé (DFBDA) | Os délipidé Et déprotéiné |
| Traitement chimique, Déshydratation, Radio-stérilisation | Déprotéination par traitement thermique Et/ou Délipidation par traitement physico-chimique Et Radio-stérilisation | Congélation – 80° Absence de stérilisation | Traitement chimique, Congélation sous vide, Délipidation Lyophilisation, Radio-stérilisation | Traitement chimique, Congélation sous vide, Lyophilisation, Délipidation Déminéralisation Radio-,ou chimio-stérilisation | Traitement chimique, Délipidation, Oxydation Déshydratation Radio-stérilisation |
| Biocoral® | Surgibone® Pyrost® Lubboc®, Bio-oss®. | | MINEROSS® ORAGRAFT® OSTEOPURE® | GRAFTON® ORAGRAFT® REGENAFORM® | BIOBank® PUROS® TUTOGEN® |

Tableau 3 : Substituts osseux d'origine synthétique

| Substituts osseux | | | |
|---|---|---|--------------------------------|
| Origine synthétique | | | |
| Matériaux minéraux non organique | | | |
| Grefe Alloplastique | | | |
| Matériaux d'origine synthétique | | | |
| Les céramiques phospho-calciques (Composition chimique similaire à la phase minérale de l'os) | | | Bioverres |
| Les hydroxapatites (HA) | Les céramiques multichristallines phosphates Tricalciques (dont les β -TCP) | Les céramiques biphasées (mélange de HA et β -TCP 40/60) | Composants chimiques bioactifs |
| Traitement par Frittage (processus thermique sous haute pression) Et/ou Traitement hydro thermique carbonate de calcium du corail | Traitement par Frittage (processus thermique sous haute pression) | Traitement par Frittage (processus thermique sous haute pression) | Traitement chimique |
| Calcite® Cerapatite® Interpore 200® | SYNTHOGRAFT® CALCIRESORB® | CERAFORM® SBS 60/40® | PERIOGLASS® BIOGRAN® |

1.4 Stabilité volumétrique et résorption des matériaux de comblement.

1.4.1 La stabilité volumétrique

Selon l'étude réalisée par Handschel et al. en 2009 (13), un matériau de greffe idéal devrait aboutir à la formation d'os nouveau et répondre aux critères histologiques d'ostéoinduction, d'ostéoconductivité mais également de stabilité à long terme du volume greffé. Celle-ci est considérée comme un facteur important pour la pose avec succès d'implants endo-osseux et ce en particulier pour le soulevé de sinus avec pose d'implants différés(19).

Cette stabilité volumétrique est souhaitée aux différents temps de la cicatrisation. Lors des premiers mois, la stabilité du volume du greffon va être influencée par le remodelage osseux et la pression due à la repneumatisation du sinus(20)(21).

Les sinus greffés peuvent s'adapter considérablement en forme et en volume en fonction de cette repneumatisation des sinus maxillaires (22)(23). Le changement de volume du comblement intrasinusien résulte de la combinaison entre la consolidation du greffon (écart entre le taux de résorption du greffon et la régénération osseuse de l'hôte) et la repneumatisation du sinus (24).

Celle-ci est induite par la pression positive dans le sinus maxillaire liée à la respiration du patient qui va accélérer la résorption des matériaux de comblement après le soulevé du sinus maxillaire (25)(26).

Esposito et al. en 1988 ont prouvé dans leur étude que le volume osseux et sa qualité ont une influence importante sur la stabilité primaire de l'implant ainsi que sur la pérennité de ce dernier(27).

Cette stabilité primaire est souvent difficile à obtenir en cas de qualité osseuse insuffisante, ce qui induit par conséquent une baisse importante du taux de survie implantaire au fil du temps(28)(29).

Nous avons décidé d'étudier radiologiquement la stabilité volumétrique du matériau de comblement intrasinusien pour comparer nos résultats avec ceux des différentes études de la littérature.

1.4.2 La résorption des matériaux de comblement.

Le phénomène de résorption osseuse a été constaté à la fois pour les substituts osseux comme pour l'os autogène utilisés tant que matériaux de comblement(30)(22)(31)(32).

Tout comme la crête alvéolaire, les matériaux de comblement subissent les phénomènes de résorption et de remodelage influençant le volume osseux du comblement(15).

En matière de greffe osseuse, un déséquilibre de ces phénomènes apparaît préoccupant car pouvant conduire à un volume osseux insuffisant et ainsi gêner le placement de l'implant(24).

1.4.2.1 La Résorption du comblement en histologie

La résorption des matériaux de comblement fait partie intégrante du processus de cicatrisation osseuse et d'intégration du greffon en histologie. Dans une situation idéale, ce dernier est entièrement remplacé par l'os de l'hôte. Ce remplacement progressif du greffon provient du remaniement ou du remodelage osseux(33). Celui-ci est rythmé par les phénomènes ostéoclastiques et ostéoblastiques (destruction/formation) issus de la néovascularisation du greffon. Plusieurs auteurs précisent qu'outre la provenance du substitut osseux, sa dégradation séquentielle guidée par les ostéoclastes dans le cadre du remodelage osseux est jugée souhaitable dans l'optique d'une néoformation osseuse(34).

De nombreuses études histomorphométriques ont pu déterminer le taux de formation d'os et de résorption du matériau de comblement. Les biopsies réalisées sur le comblement étaient prélevées lors de la pose des implants endo-osseux puis analysées sous microscope optique (Figure 2)(13)(35)(8)(9)(35).

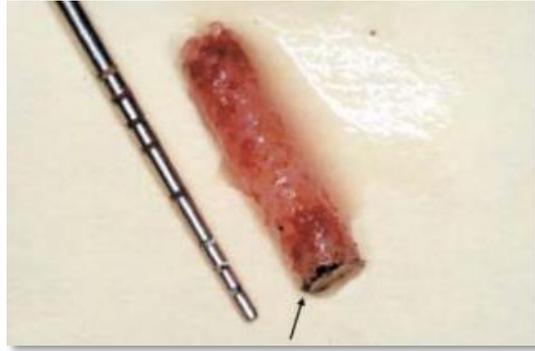


Figure 2 : Biopsie osseuse après avoir été retirée du foret de trephine. La marque à l'encre noire montre le côté apical de la biopsie (flèche) (35).

La résorption du greffon est influencée par la nature de l'os greffé et ses procédés de préparation (tableaux 1 et 2).

Toutefois Eskow et al. ont démontré que le remodelage osseux aboutit au remplacement progressif du matériau de comblement en grande partie par de l'os minéralisé mais également par du tissu conjonctif. L'équipe a comparé histologiquement dans leur étude, les taux de tissus conjonctifs néoformés et de tissus osseux minéralisés au-delà d'une certaine période de cicatrisation(36).

1.4.2.2 La résorption du comblement en radiologie

La résorption osseuse du comblement évaluée sur clichés radiographiques est considérée comme la différence des mesures (hauteur, largeur, aire, volume) de l'os minéralisé, réalisées à des temps de cicatrisation différents. Toute partie du matériau de comblement non radio-opaque, comme par exemple le tissu conjonctif néoformé, est considérée comme potentiellement résorbée.

Dans notre travail, nous proposons d'évaluer radiologiquement le volume d'os néoformé à des temps de cicatrisation différents et ses modifications évolutives.

1.4.3 Lien entre la résorption osseuse du greffon et la stabilité du volume

La stabilité volumétrique du comblement osseux ainsi que sa résorption sont intimement liées pendant la période de cicatrisation.

Deux facteurs sont importants dans la prise de décision clinique à propos du choix du matériau de comblement osseux. L'un correspond à la néoformation osseuse du patient se substituant à la résorption du matériau de comblement et l'autre la stabilité volumétrique du greffon lors de la cicatrisation. Ces facteurs dépendent du temps de cicatrisation à la suite d'un soulèvement de sinus.

La nouvelle formation osseuse est mieux évaluée par histomorphométrie (13), tandis que les changements volumétriques au fil du temps relèvent d'examens radiologiques en trois dimensions (3D), c'est-à-dire par tomographie assistée par ordinateur (CT) ou par tomographie assistée par ordinateur par faisceau conique (CBCT) .

Nous avons décidé d'évaluer radiologiquement le volume d'os néoformé du patient à des temps de cicatrisation différents car les phénomènes de remodelage osseux restent une des préoccupations majeures en implantologie. Ils peuvent induire une diminution du volume et de la qualité osseuse du comblement et compromettre la pose d'implants endo-osseux(24).

De nombreuses études de la littérature quantifient et comparent soit la résorption, soit la réduction volumétrique des différents matériaux de comblement, eux-mêmes entant qu'entité unique ou comme mélange à différents pourcentages (Tableau 4).

Tableau 4: études sur l'évaluation de la résorption ou réduction en volume du comblement à l'aide de l'imagerie 3D

| Etudes | Date de publication de l'étude | Matériaux de comblement utilisé et origine | Méthode d'évaluation | Réduction du volume ou résorption volumétrique en % à un temps de cicatrisation | Nb de patients / Nb Soulevés de sinus |
|----------------------|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
| Gultekin et al. (19) | 2016 | OBD | CBCT : Changement volumétrique en% | 8.1 % ± 3.7 A 6mois | 42/43 |
| | | MA OLC | CBCT : Changement volumétrique en% | 19.3% ± 9.2 A 6mois | |
| | | MA(OLC)+MA (OLCD) (50 :50) | CBCT : Changement volumétrique en% | 24.6% ± 4.6 A 6mois | |
| Ohé et al (37) | 2016 | HA + PCB (30 :70) | CBCT : Changement volumétrique en% | 15.6% A 6mois | 15/16 |
| Gultekin et al (20) | 2016 | OBD | CBCT : Changement volumétrique en% | 9.39% ±3.0 A 6mois | 18/19 |
| | | BCS+ OBD (33 :66) | CBCT : Changement volumétrique en% | 17,6 % ± 4.15 A 6mois | 12/18 |
| Berberi et al (38) | 2015 | OLCD | CBCT : Changement | 9.8% de 4-12 mois | 11/11 |

| | | | volumétrique en% | | |
|--|------|--------------------------------------|---|--------------------------|-----------------------------------|
| Kühl et al (39) | 2015 | PCB seul HA+ BTP (60 :40) | CBCT : Changement volumétrique en% | 15.2% ± 6.3 A 6 mois | 8/16 (8 PCB, 8PCB+OA) |
| | | PCB+ OA (50 :50) | | 18%±6.9 A 6 mois | |
| Mazzocco et al (2014) (40) | 2014 | OBD | CBCT : Changement volumétrique en% | 10% A 8mois | 20/20 |
| Dellavia et al (2014)(41) | 2014 | OA+ OBD (30/70) | CBCT : Changement volumétrique en% | 19% A 6 mois | 10/10 |
| Umanjec- Korac et al34 (2013) (12) | 2014 | OBM seul | CBCT : Changement volumétrique en% | 19.30%±9.1 A 2 ans | 19/29 (21 OBM ; 8 OBM+OA) |
| | | OBM+ OA en particule (80 ; 20) | | 9.8% ± 9.6 A 2 ans | |
| Kühl et al (2014) (42) | 2014 | OBM seul | CBCT : Changement volumétrique en% | 15.2 ± 8.3 A 6mois | 6/12 (6 OBM; 6 OBM+ AMO) |
| | | OBM+ AMO(tibia) | | 20.4%± 13.5 A 6 mois | |
| Kühl et al (2014)(42) | 2014 | OBM seul | CBCT : Changement volumétrique en% | 21.5 ± 9.4 A 6 mois | 7/14 (7 OBM ; 7 OBM+ ACMO) |
| | | OBM+ ACMO(crête iliaque) | | 16.59% ± 3.4 A 6 mois | |
| Sbordone et al. (43) | 2014 | OA en Bloque Crête iliaque | CBCT : Changement volumétrique en% | 23% | 14/14 (7 AB ;7 Allogreffes) |
| | | Allogrefe | | 18% | |
| Dellavia et al(41) | 2014 | OBM+OA (70 :30) | CBCT : Changement volumétrique | 19% ± 4 | 10/10 |

| | | | en% | | |
|------------------------|------|--|---|-------------------|--|
| Kim et al (44) | 2013 | OBM+Allogreff e (50 :50) | CBCT : Changement volumétrique en% | 37.6% A 1 an | 14/14 (8 Allogreffes, 6 OBM+Allogreff) |
| | | Allogreffe seule | | 41.2% A 1 an | |
| Sbordone et al (45) | 2013 | OA (menton ou crête iliaque) bloque | CBCT : Changement volumétrique en% | 21.5% A 6 ans | 17/17 |
| | | OA (menton ou crête iliaque) en particules | | 39.2 % A 6 ans | |
| Klinj et al(15) | 2012 | OA | CBCT : Résorption du Volume en % | 25% a 4.7 mois | 20/38 |
| Arasawa et al (46) | 2012 | OA (ramus ou crête iliaque) | CBCT : Changement volumétrique en% | 24.8% ± 6.1 | 9/11 (7 ramus ; 4 crête iliaque |
| Dasmah et al (47) | 2012 | OA (crête iliaque) + PRP | CBCT : Changement volumétrique en% | 75.1% A 2 ans | 11/22 (11 AB seul ; 11 OA+PRP) |
| | | OA (crête iliaque seul) | | 66.7% A 2 ans | |
| Kim et al (48) | 2009 | OBD +OA (90 :10) | CBCT : Résorption du Volume en % | 9,5% A 1an | 28/36 (23 OBD+OB ; 16 OBD+ OLCD +OA) |
| | | OBD + OLCD +OA (45 :45 :10) | | | |
| Fuerst et al (49) | 2009 | OBM+ CSMAC (os alvéolaire) | CBCT : Changement volumétrique en% | 23.6% A 6 mois | 12/22 |
| Kim et al | 2008 | MA | CBCT : | 19.7% | 14/14 |

| | | | | | |
|-----------------------------|------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------|
| (2008) (44) | | | Changement volumétrique en% | A 6 mois | |
| Gapski et al (50) | 2008 | MA | CBCT : Changement volumétrique en% | 8.49% A 6 mois | - |
| Kirmeier et al (2008) (22) | 2008 | OBM | CBCT : Changement volumétrique en% | 25% a | 16/25 |
| Wanschitz et al (2006) (51) | 2006 | HAP +OA en particules+sang veineux | CBCT : Changement volumétrique en% | 12.0% ± 2.5 A 7 mois | 18/33 |
| Johansson et al (52) | 2001 | OA en particule(crête iliaque) | CT Changement Volumétrique en% | 49.5% A 6 mois | 10/20 |

OA (Os Autogène) ; OBM (Os Bovin Minéralisé) ; OBD(OS Bovin Déprotéiné) ; OLC(Os Lyophilisé Conglé et Déminéralisé) ; OLC(Os Lyophilisé et Congelé) ; PCB (Phosphate de Calcium Biphasique) ; AMO (Aspirat de Moelle Osseuse) ; CSMAC (Cellules Souches Mésenchymateuses Autogènes issues de Culture) ; HAP(Hydroxyapatites phycogéniques) ; ACOMO (Aspirat Concentré de Moelle Osseuse) ; SO (Substitut Osseux) ; MA (Matériau Allogénique) BPT (Beta- Phosphates Tricalciques) ; HA (Hydroxyapatites) ;PRP (Plasma Riche en Plaquettes)

1.5 Évaluation radiologique de la résorption osseuse du comblement en imagerie 2D et 3D.

Il existe dans la littérature un nombre conséquent d'auteurs qui utilisent l'imagerie bidimensionnelle (2D) pour étudier la résorption du comblement suite à des soulèvements de sinus(53)(54)(55)(56)(57). Les clichés panoramiques, réalisés sur

orthopantomogramme, sont pour certains auteurs encore aujourd'hui l'examen radiologique de référence malgré l'émergence de l'imagerie tri-dimensionnelle en dentisterie(48)(58). Ils privilégient ces clichés panoramiques pour leurs taux d'irradiation plus faible par patient(58)(59).

D'autres auteurs affirment que les radiographies conventionnelles dentaires ou panoramiques ne sont pas adaptées à l'analyse volumétrique, car leur nature bidimensionnelle ne fournit que des dimensions orthogonales du greffon sinusal(60)(61)(57).

Pour cette raison, des méthodes alternatives et des techniques de quantification ont été introduites dans le but d'évaluer le volume des greffes de sinus maxillaire 3D, telles que l'imagerie par résonance magnétique (IRM), la tomодensitométrie volumique par faisceau conique (TVFC ou CBCT) (tableau 4) ou la tomодensitométrie scanographique(TDM ou Scanner)(52).

Le développement et l'utilisation de CBCT pour l'évaluation et le suivi des volumes de greffe osseuse sont assez récents. Certains cliniciens recommandent d'acquérir la réflexion tri-dimensionnelle afin d'examiner les différences de volumes plutôt que de rester aux mesures habituelles de hauteur de crêtes osseuses.

l'interprétation des mesures d'une réduction de volume de 1mm^3 sur CBCT est nettement supérieure à 1 mm de réduction de hauteur crétale évaluée sur une radiographie panoramique(38). De plus, les superpositions et les artefacts liés aux structures anatomiques adjacentes peuvent conduire à des mesures radiographiques moins précises sur clichés orthogonaux (2D).

C'est dans ce contexte que nous avons décidé d'étudier la résorption osseuse et la stabilité du greffon en imagerie 3D à l'aide de la tomодensitométrie volumique à faisceau conique (TVFC ou CBCT).

2 Matériel et méthode

2.1 Introduction :

Nous souhaitons réaliser une étude rétrospective, transversale et observationnelle d'une cohorte de patients suivie dans le département de Parodontologie et d'Implantologie Orale du Centre hospitalier régional universitaire de Nancy. Le but de notre étude était l'analyse radiographique de l'évolution du comblement intra sinusien suite à un soulèvement de sinus par voie latérale dans le temps.

Notre 1^{er} objectif était de prouver l'existence d'une résorption du comblement osseux. Nous voulions comparer le volume du comblement sur des examens radiographiques 3D, type CBCT, à des intervalles de temps différents (T0, T1, T2).

Notre 2^{ème} objectif consistait à calculer le pourcentage de résorption en hauteur et largeur du comblement osseux aux mêmes intervalles de temps (T0, T1, T2).

2.2 Matériel et méthode

2.2.1 Déroulement de l'étude

Deux opérateurs ont analysé tous les dossiers de patients ayant bénéficiés d'un soulèvement de sinus par voie latérale pratiqués, entre 2010 et 2016, dans le service d'odontologie du CHRU de Nancy. Etaient exclus les patients ayant bénéficiés d'un soulèvement de sinus par voie crétale de même que ceux porteurs de pathologies impactant la qualité osseuse ex :biphosphonates.

Pour chaque patient participant à l'étude, trois examens radiographiques, type CBCT, ont été nécessaires pour effectuer les différentes mesures :

Le CBCT à T0 (Figure 1), correspondait à l'examen radiologique de diagnostic initial pour l'analyse de la situation clinique du sinus maxillaire et de la crête alvéolaire,

permettant d'aboutir à l'indication thérapeutique de soulevé de sinus par voie latérale.

Le CBCT à T1 (Figure 1) correspondait à l'examen radiologique 6 mois après la chirurgie de comblement. Il était nécessaire pour vérifier la maturation et la qualité osseuse du comblement. Il permettait également de planifier la pose des futurs implants endo-osseux sur logiciel informatique.

Le CBCT à T2 (Figure 1) correspondait à l'examen radiographique de contrôle lors du suivi thérapeutique du patient. Il était pratiqué dans le but de contrôler la cicatrisation et la bonne santé des implants endo-osseux.

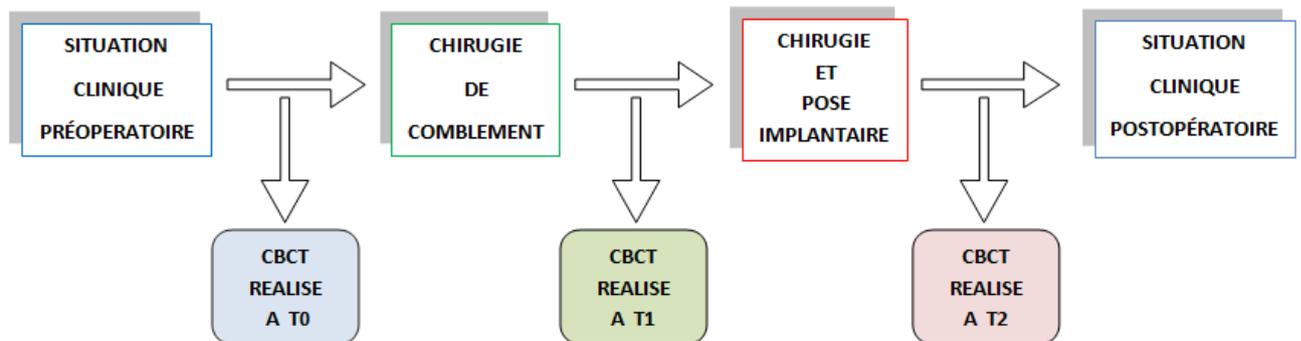


Figure 3:Chronologie des examens radiographiques CBCT chez un même patient

2.2.2 Recueil de données

Les données des CBCT pratiqués à T0 et T1 étaient collectées par deux opérateurs dans le dossier du patient archivé à la faculté de chirurgie dentaire de Nancy ou auprès des différents cabinets de Radiologie des patients.

L'ensemble des patients répondants aux critères d'inclusion étaient recontactés par courrier postal et rappel téléphonique, à 3 semaines, pour fixer le rendez-vous de réévaluation radio-clinique en consultation au CHRU.

Au cours de celle-ci, les patients bénéficiaient dans le cadre de leur suivi à long terme, d'une consultation dentaire par l'un des deux praticiens ayant participé au

protocole. Ils répondaient à un questionnaire standardisé (annexe 1), et bénéficiaient ensuite d'une radiographie 3D de contrôle (CBCT à T2) effectuée sur un appareil radiologique type Cône Beam Sironna® (Orthophos XG 3D, 60-90k V/3-16 mA) (Figure 4).



Figure 4: Sironna® Orthophos XG 3D

Une fois le traitement d'image pratiqué sur logiciel Sidexis® (Figure5), les coupes natives DICOM étaient transférées vers un autre logiciel.



Figure 5: programme Sidexis 4®

2.2.3 L'Analyse radiologique :

Les CBCT étaient analysés par un même opérateur sur le logiciel 3D Slicer® pour effectuer et comparer les mesures en volume, hauteur et largeur. Le CBCT T2 (Figure 8) obtenu lors de la visite de contrôle devant être comparé avec les deux CBCTT0 (Figure 6) et T1 (Figure 7) issus du dossier médical du patient.



Figure 6 : CBCT T0



Figure 7 : CBCT T1



Figure 8 : CBCT T2

2.2.4 L'Analyse volumétrique

L'analyse volumétrique a été pratiquée à l'aide du logiciel 3DSlicer® pour permettre la mise en évidence et la quantification de la résorption. La procédure de segmentation du comblement sinusien a été réalisée sur des coupes axiales à l'aide d'outils de segmentation interactifs. Le comblement a été délimité par un traçage à main levée et isolé de la cavité sinusienne par l'opérateur sur ces différentes coupes. Le traçage des coupes axiales a engendré des modifications sur les coupes sagittales et coronales. Ces modifications ont imposé un second traçage rigoureux et précis des coupes sagittales et coronales afin d'obtenir des résultats précis (Figure 9).

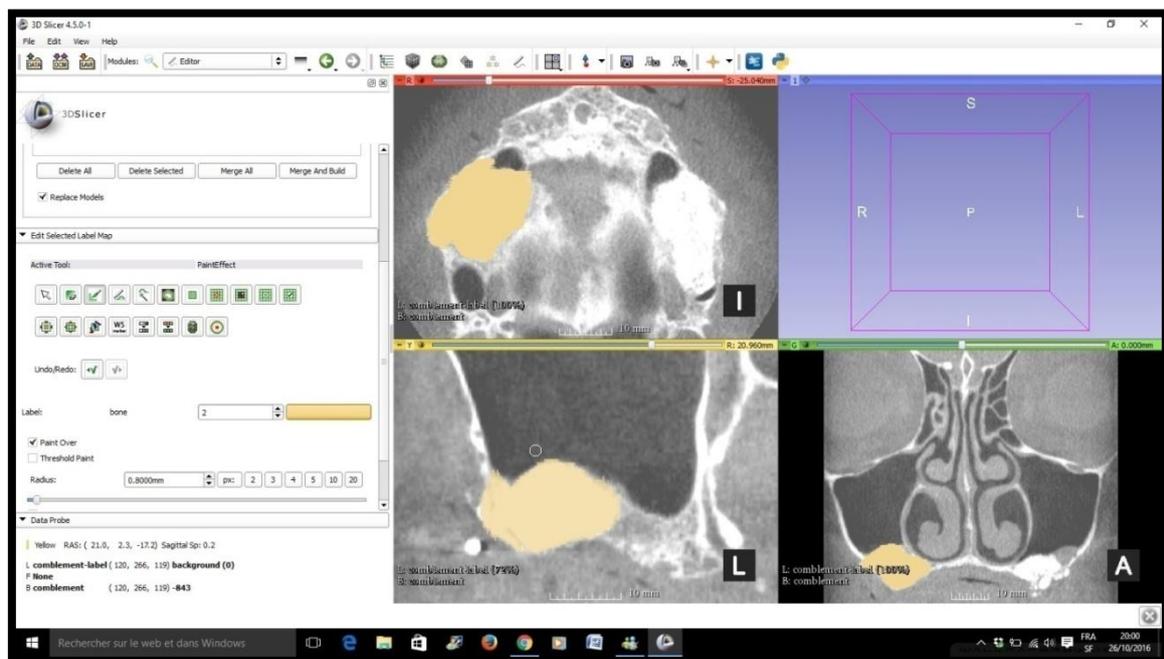


Figure 9 : Délimitation comblement

À l'aide d'outils volumétriques interactifs du logiciel nous avons réussi à réaliser la somme des aires tracées sur les différentes coupes afin d'isoler le volume du comblement (Figure 10)

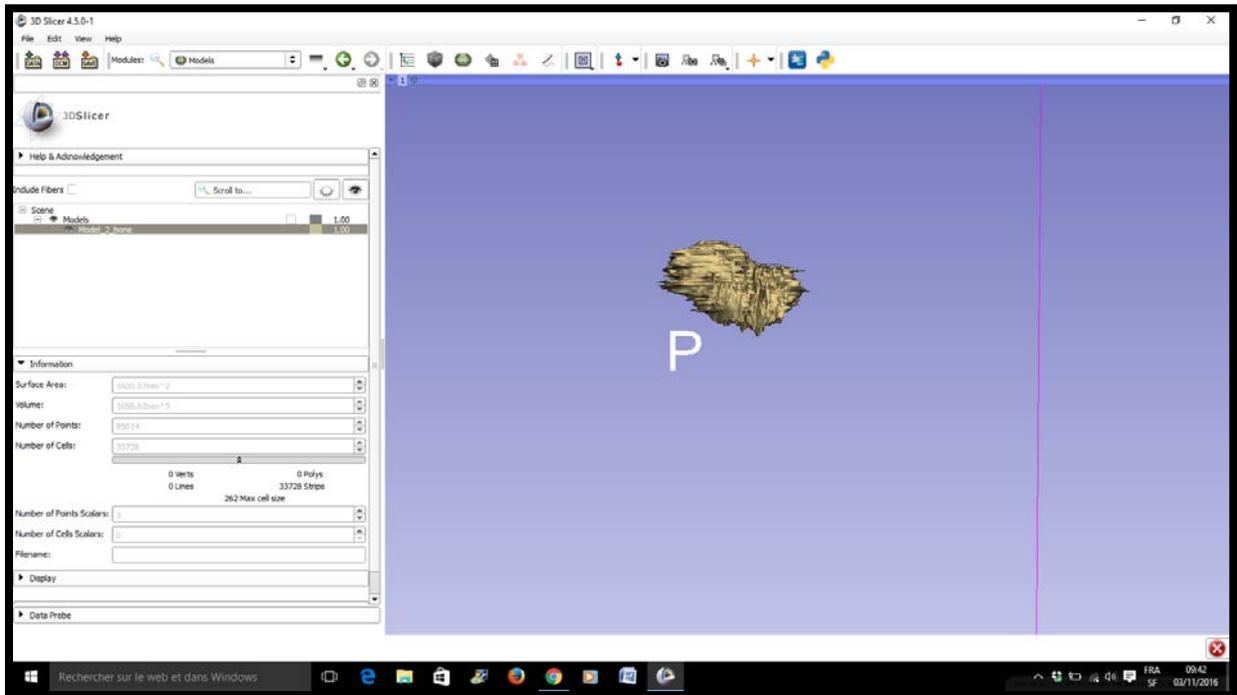


Figure 10 : création du volume isolé à partir de la somme des aires

La mesure du volume délimité a été calculée automatiquement par le logiciel en mm^3 (Figure 11)

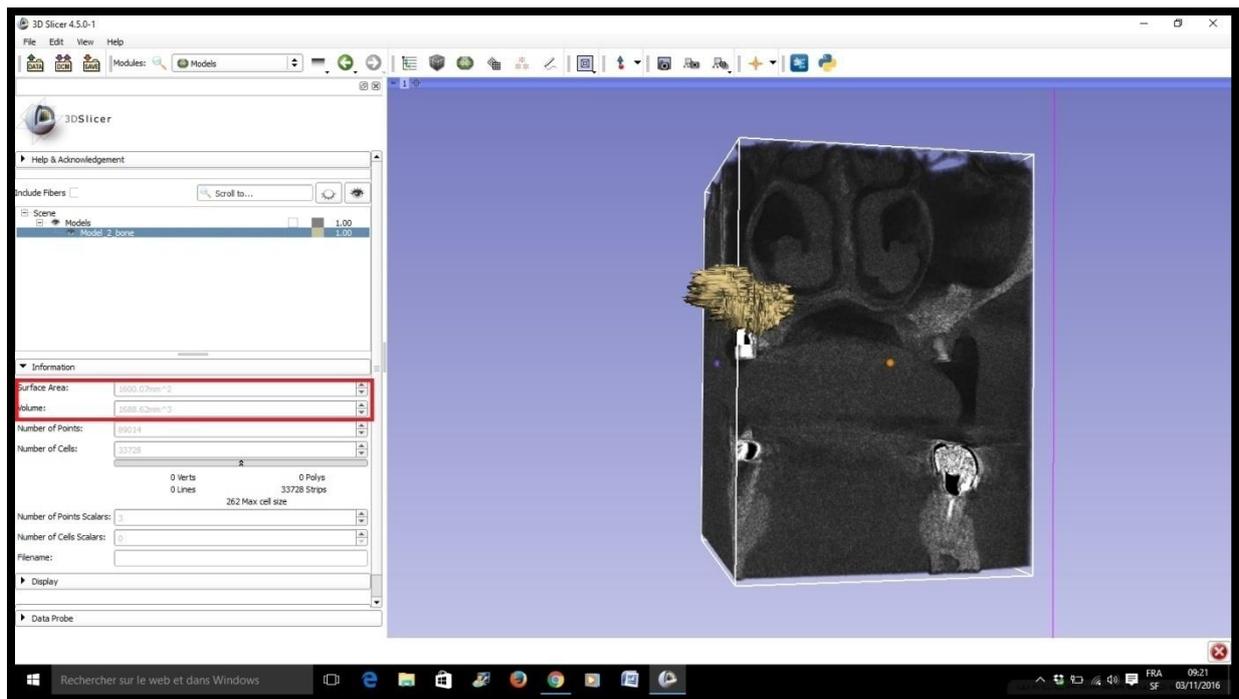


Figure 11 : Mesure du volume en mm^3 dans le logiciel 3D Slicer.

Les mesures volumétriques du comblement osseux ont été effectuées sur les CBCT réalisés aux différents intervalles de temps.

Nous avons quantifié la résorption osseuse entre les intervalles de temps T1 et T2 à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Volume CBCT T1 (mm}^3\text{)} - \text{Volume CBCT T2 (mm}^3\text{)} = \text{Résorption (mm}^3\text{)}$$

2.2.5 Mesures de résorption en hauteur et largeur du comblement

Le but de cette analyse était de mesurer et de comparer la hauteur et largeur du comblement sur les CBCT, réalisés aux différents intervalles de temps (T0, T1 et T2) afin de calculer le pourcentage moyen de résorption en hauteur et largeur. L'opérateur effectuait un recalage d'image rigide en superposant les coupes issues des 2 CBCT à analyser dans le logiciel 3D Slicer (Figures 12).

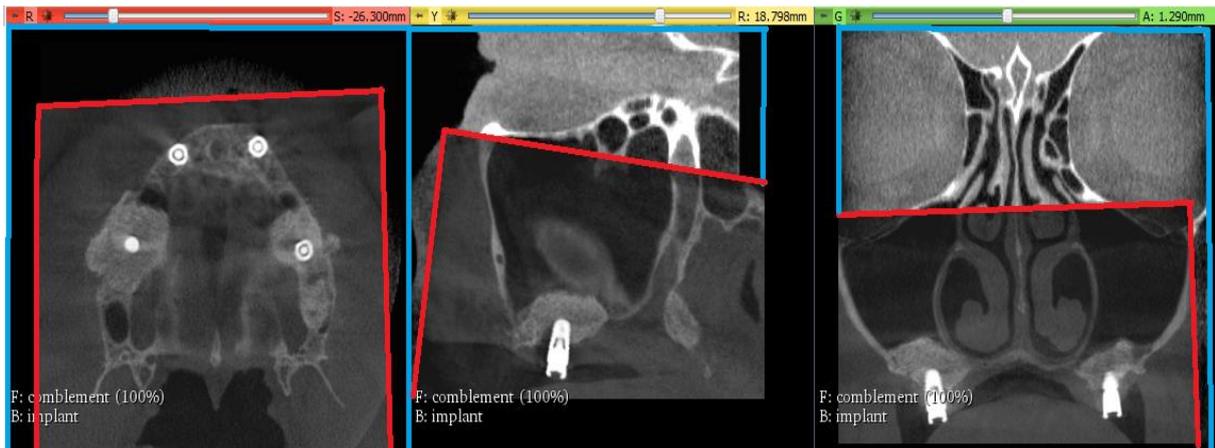


Figure 12: Recalage d'image rigide en superposant les coupes du CBCT T1 (cadre bleu) avec les coupes du CBCT T2 (cadre rouge).

La procédure de recalage et de correspondance d'image était obtenue par l'intermédiaire d'outils interactifs de superposition, de rotation et de translation (Figure 13).

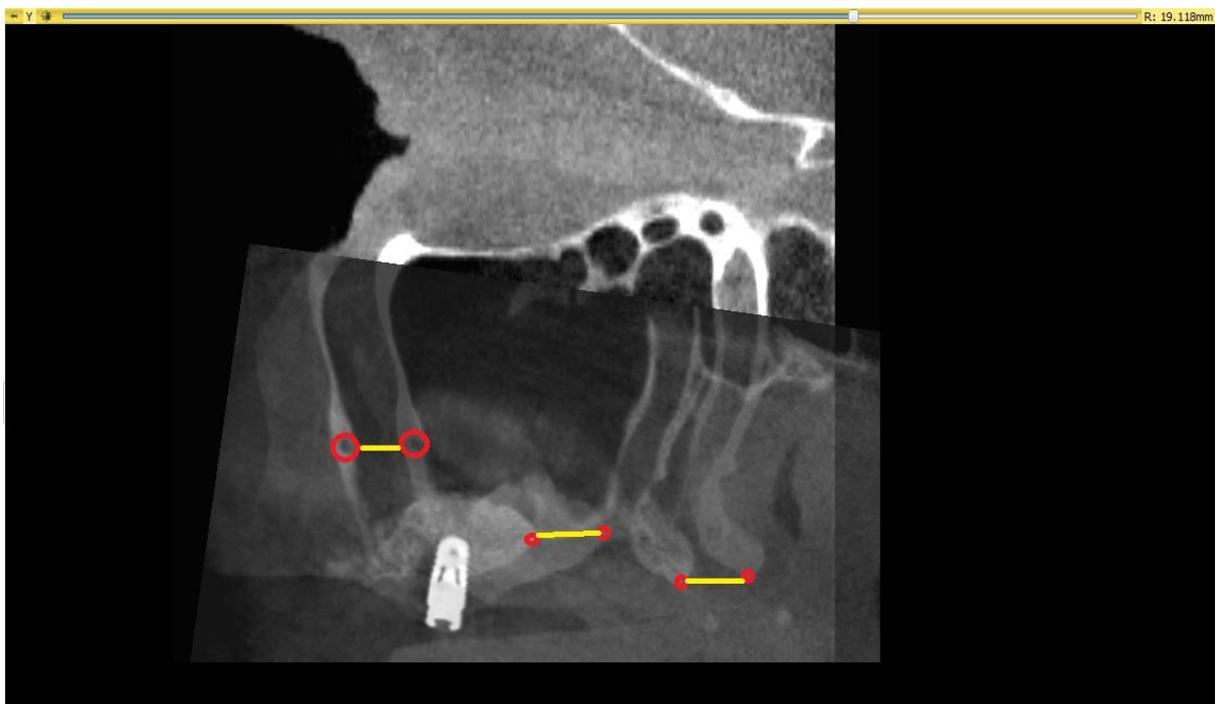


Figure 13 : Recalage d'image par translation antéropostérieure sur coupes sagittales entre les CBCT T1 et T2.

La méthode de recalage « point par point » a été utilisée lorsque des repères anatomiques étaient communs aux deux CBCT superposés.

Le recalage d'image devait permettre d'augmenter la précision des mesures millimétriques effectuées (Figure 14)

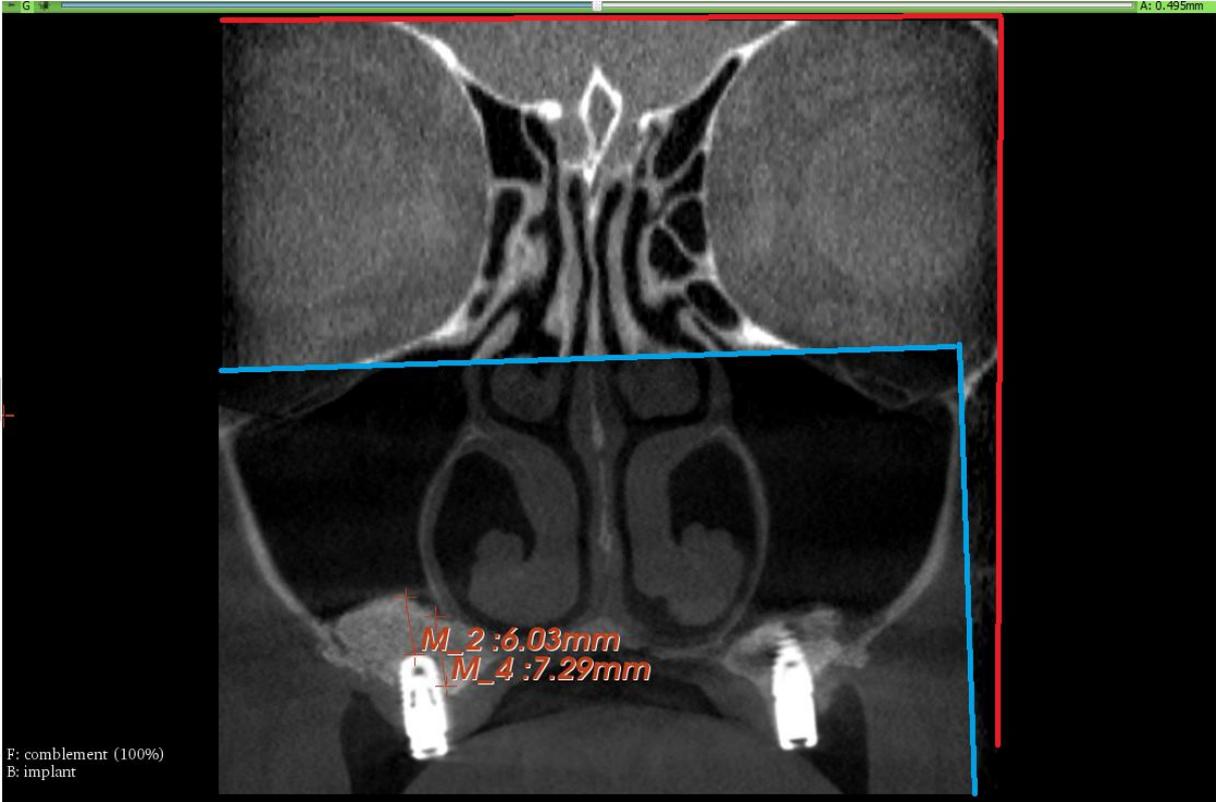


Figure 14 : Mesures millimétriques en hauteur sur le CBCT T2 après le recalage d'image

3 Résultats

Sur 211 patients recensés dans la base de données du service de parodontologie et implantologie orale, 22 patients correspondant aux critères d'inclusions ont été contactés par courrier (Annexe 1) puis par téléphone. 17 patients ont répondu présents. Ils ont bénéficié d'une consultation ainsi que d'un examen radiologique dans le cadre de leur suivi suite à leur réhabilitation implantaire.

Sur les 17 patients :

- 12 patients étaient de sexe féminin et 5 de sexe masculin
- 11 examens CBCT T0, 17 examens CBCT T1 et 17 examens CBCT T2 ont pu être récupérés.
- 21 soulèvements de sinus ont été rassemblés. ®
- 13 compléments xénogéniques : 8 Bio-Oss®, 5 Endobone®
- 5 compléments alloplastiques : 5 Perioglass®
- 5 compléments allogéniques. 5 Biobank®

4 Difficultés rencontrées et discussion

4.1 Recueil des données administratives et prise de contact avec le patient :

Difficultés :

Le facteur temps induit de nombreuses difficultés dans les études rétrospectives sur plusieurs années. Les changements d'adresse et de numéro de téléphone du patient ainsi que les dossiers cliniques incomplets ont rendu la prise de contact par voie postale ou téléphonique difficile.

Discussion :

La réalisation d'une étude prospective permet sur quelques années d'assurer de la collecte des données administratives de manière plus rigoureuse.

4.2 Recueil des examens radiologiques (CBCT T0 et CBCT T1).

Difficultés :

Les difficultés rencontrées lors du recueil des données radiologiques sont liées au critère rétrospectif de notre étude ainsi que par les nombreux intervenants ayant eu accès au dossier du patient. L'égarement et la perte des examens radiologiques CBCT sur support CD Rome, contenant les coupes natives type DICOM, étaient récurrents dans les dossiers.

Aucun patient recontacté n'était en possession de ses examens radiologiques originaux ou de copies. Avant 2014 les patients étaient adressés dans des cabinets de Radiologie pour y réaliser leurs CBCT. Certains cabinets de Radiologie ont perdu d'anciens examens du fait des mises à jour de leur base de données ou le remplacement de leur système d'archivage informatique. En 2014 le service

d'odontologie du CHRU de Nancy a fait l'acquisition d'un appareil radiologique Cône Beam (SironnaOrthophos XG 3D®). Ainsi à partir de 2014 les examens radiologiques types CBCT furent pratiqués dans la majorité des cas au sein du département de Parodontologie et Implantologie orale et enregistrés sur le système informatique d'archivage et de transmission d'images(PACS).

En 2015 le service d'odontologie a remplacé les dossiers patients sur support papier par des dossiers informatisés.

Discussion :

Lors d'une étude prospective, un plan d'étude est préétabli. Ce dernier permet de définir le nombre souhaité d'opérateurs ou d'intervenants et de standardisé les appareils radiologiques de même que leur protocole de réalisation. Le caractère prospectif d'une étude permet également d'uniformiser le recueil ainsi que le système d'archivage des données.

4.3 Matériels radiologiques et informatiques

4.3.1 Les appareils radiologiques :

Comme les examens CBCT T0 et les CBCT T1 ont étaient réalisés entre 2009 et 2016, différents appareils radiologiques ont donc été utilisés et intégrés dans l'étude.

4.3.2 Les logiciels informatiques utilisés.

4.3.2.1 Le logiciel Sidexis® :

Lors la réalisation des CBCT dans le service d'odontologie, les examens étaient visualisés sur le logiciel Sidexis® puis les données contenant les différentes coupes natives ont été transformées en Fichier DICOM pour être lu dans les différents logiciels de visualisation et mesures.

4.3.2.2 Le logiciel Siplant® :

Difficultés :

Tous les examens CBCT dit de diagnostique ou préopératoires à la pose des implants endo-osseux ont été visualisés dans le logiciel de planification implantaire Siplant® au sein du département de Parodontologie et Implantologie Orale .Lors de cette procédure les fichiers DICOM ont été convertis en fichier Siplant® puis enregistrés .Avant 2014, le support de donnés DICOM était le CD ROM, rendu au patient après sa visualisation.

Malheureusement lors du recueil de donnés les opérateurs ont constaté qu'aucun patient n'était en encore en possession de son CD ROM.

De ce fait nous avons été contraints de réaliser la conversion des fichiers Siplant® en fichier DICOM afin de pouvoir pratiquer un recalage d'image sur le logiciel 3D Slicer®. Malheureusement une perte de données s'observait lors de la conversion des fichiers, se traduisant par une perte de qualité de l'imagerie en format DICOM.

Discussion :

La réalisation d'une étude prospective permettrait d'éviter la nécessité d'une reconversion et la perte de données d'un logiciel à un autre, à l'origine d'une baisse de qualité d'image.

4.4 La réalisation des examens radiologiques

4.4.1 Reproductibilités des examens

Difficultés :

L'étude rétrospective a imposé l'utilisation de différentes machines radiologiques.

De plus Les CBCT T2 effectués sur l'appareil de radiologie Sirona Orthophos XG 3D® du service d'odontologie n'ont également pas été réalisés exclusivement par les deux opérateurs participants à l'étude. Ainsi différents paramètres de réglage ont été choisis pour différents examens d'un même patient.

4.4.2 Paramètres de réglage :

Difficultés :

Le temps d'acquisition ou d'exposition, les paramètres du générateur et la dose délivrée au patient en rapport avec son âge et de sa corpulence ont varié en fonction du type d'appareil radiologique utilisé et des opérateurs intervenants (Figure 15).

En conséquence, la qualité de l'image entre les différents CBCT d'un même patient n'était pas identique, tant en densité des différents tissus (degré de noirceur) qu'en résolution en contraste (différence entre 2 tonalités de gris ou 2 densités voisines).

| | | | | |
|--|---|--|---|---|
| Program: VOL1 HD off |  |  |  |  |
| kV/mA | 85/7 | 85/7 | 85/10 | 85/13 |
| Effective radiation time | 3.2 s | 5.0 s | 5.0 s | 5.0 s |
| Area dose product (mGycm ²) with whole volume dia. 8 cm x 8 cm | 203 | 338 | 479 | 617 |
| Area dose product (mGycm ²) with collimation to dia. 8 cm x 5.5 cm | 142 | 236 | 334 | 429 |

Program: VOL 1 (8x8 cm Full, 8x5.5cm collimated) **effective dose (μSV)** HDoff Mode by FOV location and patient size

| Center of rotation | Collimation | Patient 1 | Patient 2 | Patient 3 | Patient 4 | Dose/ mAs |
|--------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Centered | Full | 35 | 55 | 79 | 102 | 1.54 |
| Centered | Maxillary | 26 | 40 | 57 | 74 | 1.11 |
| Centered | Mandibular | 26 | 41 | 59 | 76 | 1.15 |
| Side | Full | 37 | 57 | 81 | 105 | 1.59 |
| Side | Maxillary | 26 | 40 | 58 | 75 | 1.13 |
| Side | Mandibular | 28 | 44 | 64 | 83 | 1.25 |
| TMJ | Full | 19 | 30 | 43 | 56 | 0.85 |
| TMJ | Maxillary | 6 | 10 | 15 | 19 | 0.29 |

Figure 15 : dosimétrie de l'appareil radiologique Sironna Orthophos XG 3D®

Discussion :

Les choix optionnels des actes radiologiques et leur protocole retentissent de façon significative sur l'imagerie, pour un même patient, selon l'opérateur responsable.

4.4.3 Les champs d'acquisition

Lors de la réalisation des examens radiologiques d'un même patient, différents champs d'acquisition ont été sélectionnés selon l'indication de l'examen (diagnostic/ planification implantaire) (Tableau 5).

Tableau 5 : Les différentes tailles de champ d'acquisition sur l'appareil radiologique Sironna Orthophos XG 3D®

| | Volume d'acquisition Sironna Orthophos XG 3D® | | |
|---|--|--|--|
| Champs d'acquisition (volume cylindrique : diamètre x hauteur) | 8cm de diamètre X 8cm de hauteur | 8cm de diamètre X 5.5cm de hauteur | 5cm de diamètre X 5.5cm de hauteur |

Le choix de la taille du champ d'acquisition a une influence sur la qualité de l'image. Les tailles du pixel et par conséquent du voxel augmentent proportionnellement avec la taille du champ d'acquisition occasionnant une diminution de la résolution spatiale de l'image. Le pouvoir de discrimination de 2 petits éléments voisins en apparait donc affecté.

Discussion :

Les erreurs de choix de la taille du champ d'acquisition et du positionnement de la tête dans celui-ci peuvent entraîner la disparition de repères nécessaire au recalage de l'image (Figure 16).

Dans un même volume d'acquisition, le positionnement différent de la tête, induira obligatoirement des séries de coupes reconstruites présentant un certains degré de dysmorphie, rendant complexe la possibilité de superposition de coupes nécessaires ultérieurement.

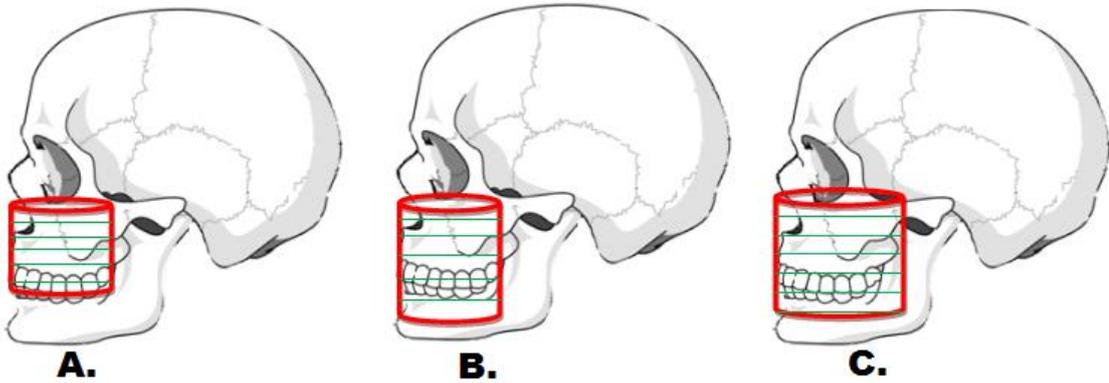


Figure 16: Position correcte du crane centré dans les différents champs d'acquisition **A.** champ de 5x5.5 cm **B.** champ de 8x5.5 cm et **C.** 8x8cm

4.4.4 Mode HD

Lorsque le mode HD est activé sur l'appareil de radiologie Sirona Orthophos XG 3D®, l'arête du voxel a une hauteur de 0.1mm en mode HD au lieu de 1.6mm en mode Standard augmentant la résolution spatiale.

Si la tension reste identique au mode standard, l'intensité est diminuée mais le temps d'exposition est triplé voir quintuplé en fonction de la corpulence et de l'âge du patient. En moyenne la dose effective se voit multiplié par 2.3 (Figure 17).

Il en résulte une qualité d'image en termes de résolution en contraste supérieure qu'en mode standard.

| Program: VOL1 HD on |  |  |  |  | | |
|--|---|--|---|---|-----------|-----------|
| kV/mA | 85/4 | 85/5 | 85/6 | 85/7 | | |
| Effective radiation time | 14.4s | 14.4s | 14.4s | 14.4s | | |
| Dose area product (mGycm ²) with whole volume dia. 8 cm x 8 cm | 620 | 781 | 931 | 1088 | | |
| Area dose product (mGycm ²) with collimation to dia. 8 cm x 5.5 cm | 431 | 543 | 648 | 757 | | |
| Program: VOL 1 (8x8 cm Full, 8x5.5cm collimated) effective dose (μSV) HD on Mode by FOV location and patient size | | | | | | |
| Center of rotation | Collimation | Patient 1 | Patient 2 | Patient 3 | Patient 4 | Dose/ mAs |
| Centered | Full | 109 | 136 | 163 | 191 | 1.89 |
| Centered | Maxillary | 78 | 98 | 117 | 137 | 1.36 |
| Centered | Mandibular | 81 | 101 | 121 | 142 | 1.41 |
| Side | Full | 112 | 140 | 168 | 196 | 1.94 |
| Side | Maxillary | 80 | 100 | 119 | 139 | 1.38 |
| Side | Mandibular | 88 | 110 | 132 | 154 | 1.53 |
| TMJ | Full | 60 | 75 | 90 | 105 | 1.04 |
| TMJ | Maxillary | 20 | 25 | 30 | 36 | 0.35 |

Figure 17: Dosimétrie de l'appareil radiologique Sironna Orthophos XG 3D® ; Mode HD

Discussion :

Le mode HD peut se révéler très utile pour différencier l'os basal initial du matériau de comblement sinusien ossifié après 6 mois de cicatrisation. Toutefois son activation est à mettre en relation avec le taux bénéfices/risques concernant l'irradiation du patient.

En étude prospective, l'idéal serait un CBCT au temps T1, pratiqué dans les jours qui suivent le soulèvement de sinus, autorisant à n'utiliser que le mode standard pour la délimitation exacte entre matériaux de comblement et os basal.

4.4.5 Positionnement du patient dans l'appareil radiologique.

Lors de notre étude nous avons déterminé le positionnement de la tête du patient dans l'appareil radiologique au moyen d'outils comme les centreurs lumineux (lasers). Ceux-ci indiquent les limites supérieures et inférieures du champ d'acquisition (future volume). La position de la tête est précisée dans le plan frontal par le centreur laser médian et pour le plan sagittal laissé à l'appréciation du praticien en ce qui concerne le plan occlusal. Les appuis temporaux et frontaux servent à immobiliser la tête du patient (Figure 18).



Figure 18 : Positionnement du patient dans l'appareil radiologique Sirona Orthophos XG 3D®

Les outils de positionnement précités ont pour but de standardiser le positionnement de la tête dans le champ d'acquisition choisi (Figures 19, 20 et 21).

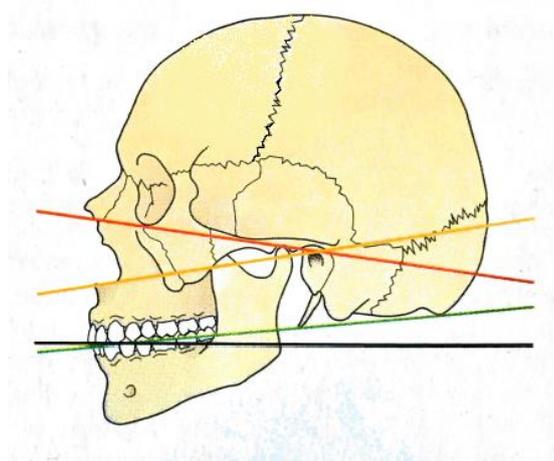


Figure 19 : ATLAS DE RADIOLOGIE DENTAIRE ; PASLER ET VISSER : Plan de Frankfort (ligne rouge) ; Plan de Camper (ligne jaune) ; Plan occlusal (ligne verte) ; plan horizontale (ligne noire)

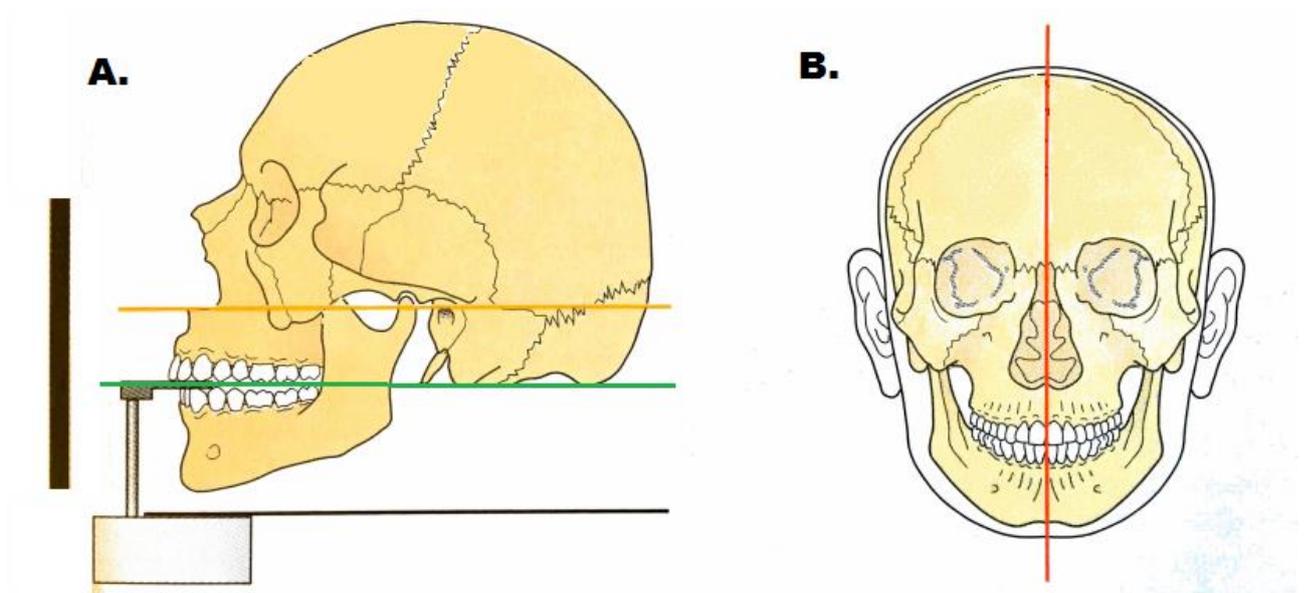


Figure 20: ATLAS DE RADIOLOGIE DENTAIRE ; PASLER ET VISSER Positionnement de la tête du patient ; A. Vue sagittale B. Vue frontale ; Plan de Camper (ligne jaune) ; Plan occlusal (ligne verte) ; plan horizontale (ligne noire) ; Plan frontal (ligne rouge).

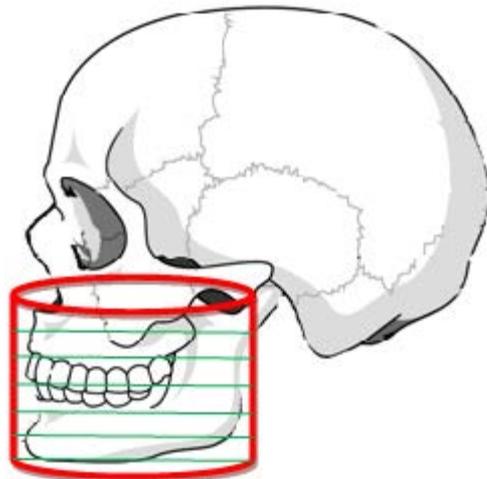


Figure 21:Crâne en position centrée dans le champ d'acquisition (rouge). Vue sagittale

Dans leurs études respectives El-Beialy et al. et Kim et al. démontrent que la position de la tête du patient lors de l'acquisition influence le recalage d'image mais peut toute fois être corrigé avec certains logiciels(62)(63)(Figure 22 et 23).

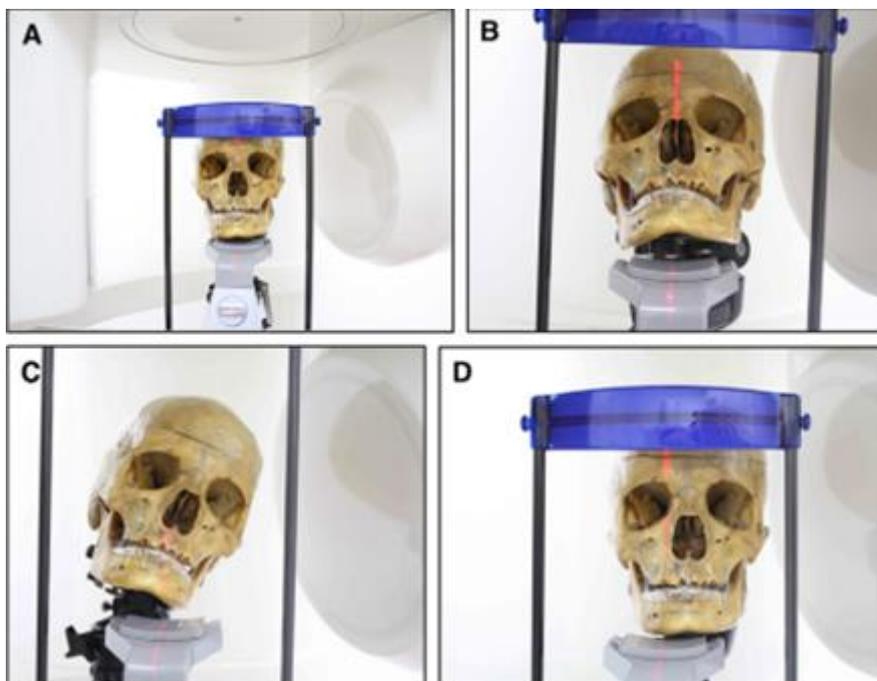


Figure 22: A. Crane en position centrée dans l'appareil radiologique type CBCT B. Crâne avec une inclinaison antéropostérieur C. Crâne avec de multiples inclinaisons D. Crâne en position non-centrée dans l'appareil radiologique type CBCT (62).

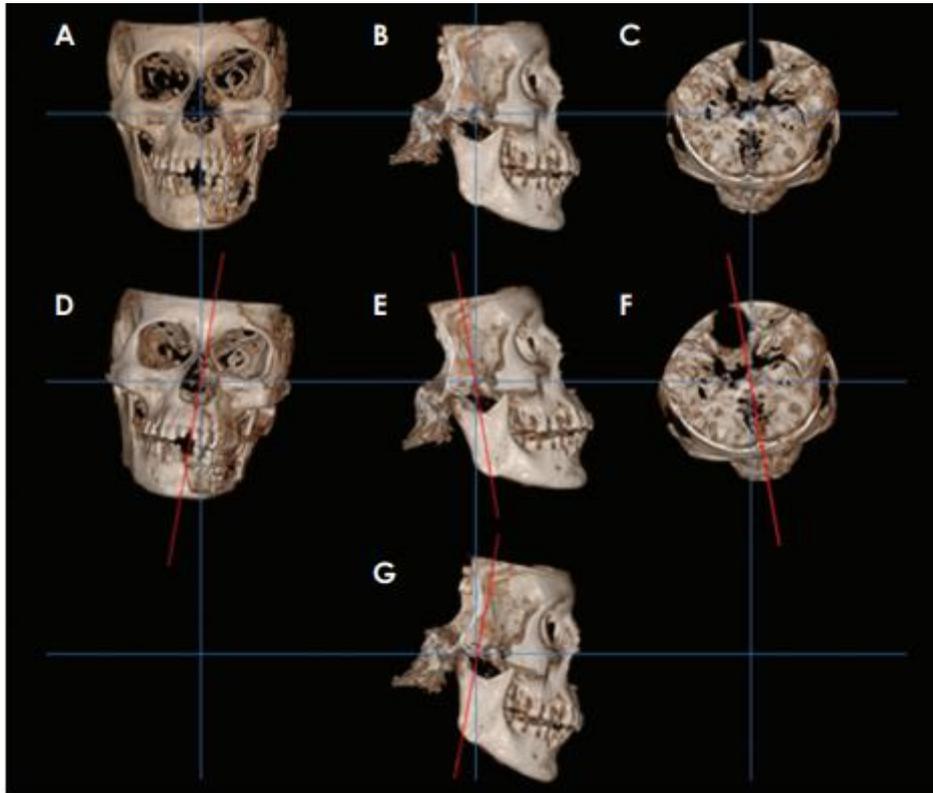


Figure 23 : Images tridimensionnelles de tomographie par faisceau conique correspondant à 5 positions de tête. A. Position normale (plan frontale). B. Position normale (plan sagittal). C. Position normale (plan axial). D. Inclinaison de cinq degrés vers la gauche. E. Extension de cinq degrés. F. Rotation de cinq degrés vers la gauche. G. Flexion à cinq degrés(63).

Difficultés :

La variabilité de la position de la tête, lors des différents CBCT, apparait grandement inévitable malgré l'utilisation d'outils de positionnement et augmente la difficulté au recalage des images. La position en flexion ou extension de la tête du patient dans le plan sagittal, pour le plan occlusal, reste subjective et opérateur dépendant. Certains facteurs comme l'orthostatisme, l'absence de marquage au sol et le nombre d'opérateurs dans l'étude majorent le taux d'erreur de positionnement (Figure 24 et 25).

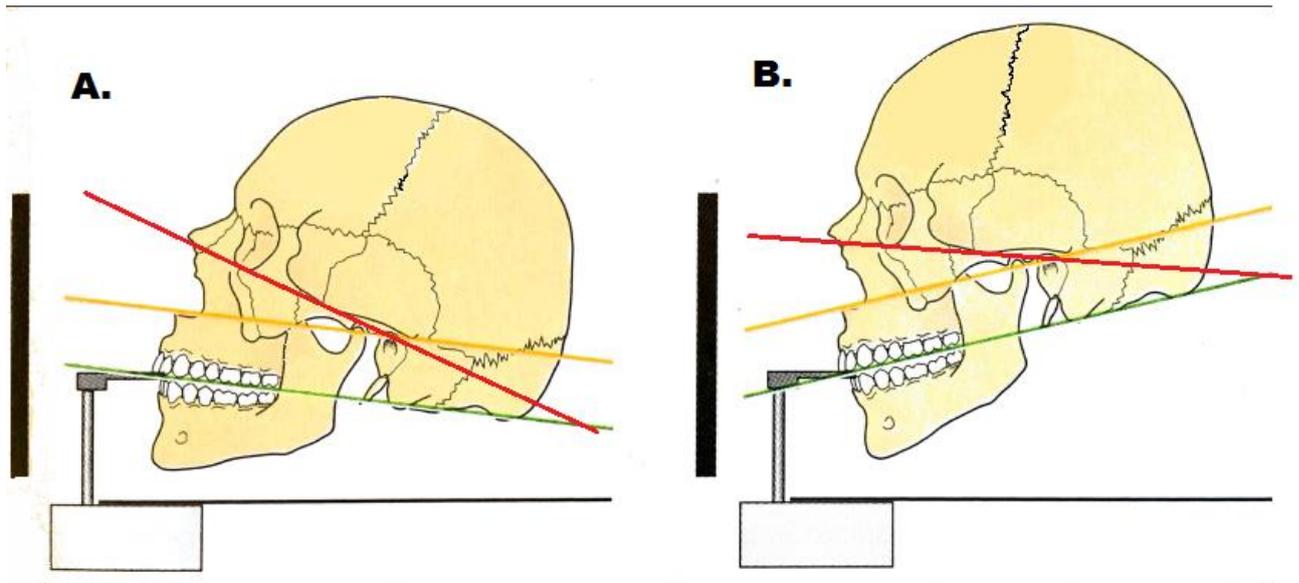


Figure 24: Erreur de positionnement de la tête dans le plan sagittal .A. Tête en hyperextension B. Tête en hyperflexion

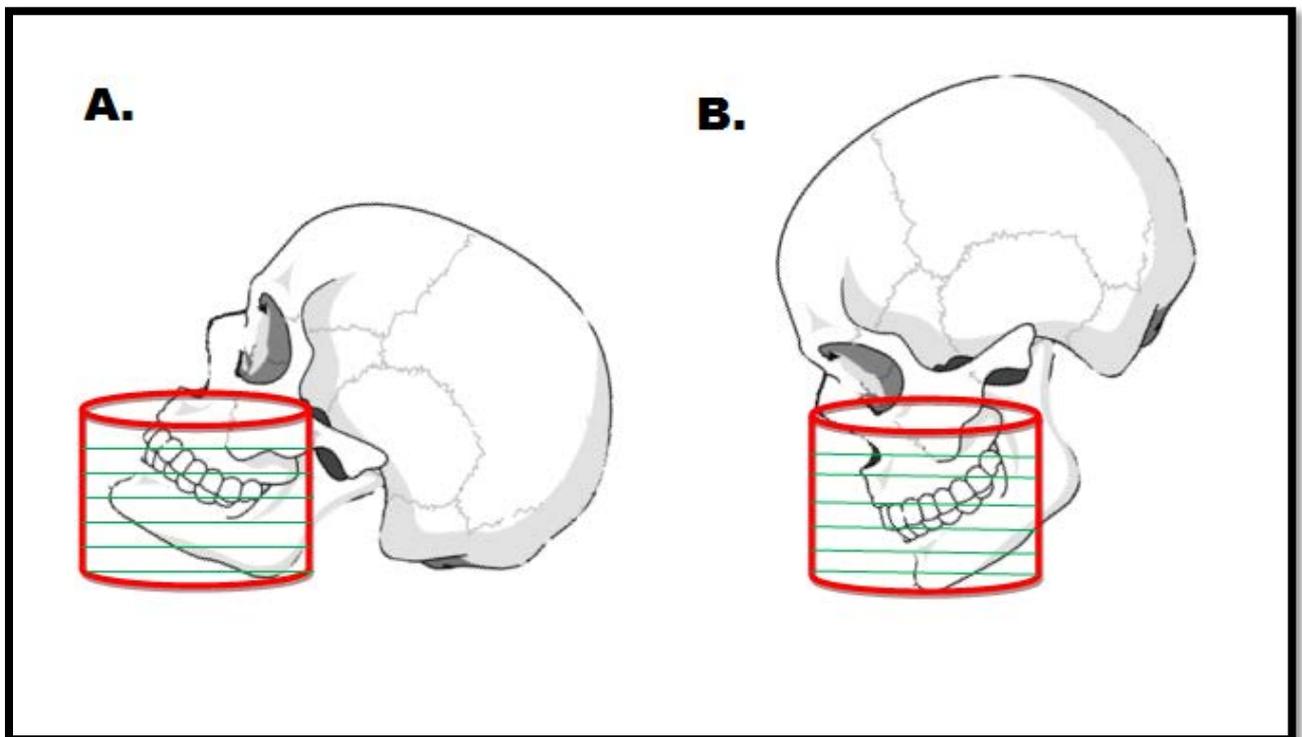


Figure 25: Erreurs de positionnement du crane à l'intérieur du champ d'acquisition (rouge).
Vue sagittale A. Crane en extension B. Crane en flexion

Lors de notre étude la standardisation d'un protocole pour la réalisation des examens radiologiques était impossible du fait de son critère rétrospectif.

Discussion :

Dans une future étude prospective un protocole standardisé doit être mis en place avec un nombre restreint d'opérateurs.

Lors des acquisitions 3D les centreurs lumineux renseignent uniquement l'opérateur sur les limites supérieures (Plan de Frankfort) et inférieure du champ d'acquisition (future volume) et non sur le centrage de la tête, à l'intérieur de ce dernier(Figure 26).

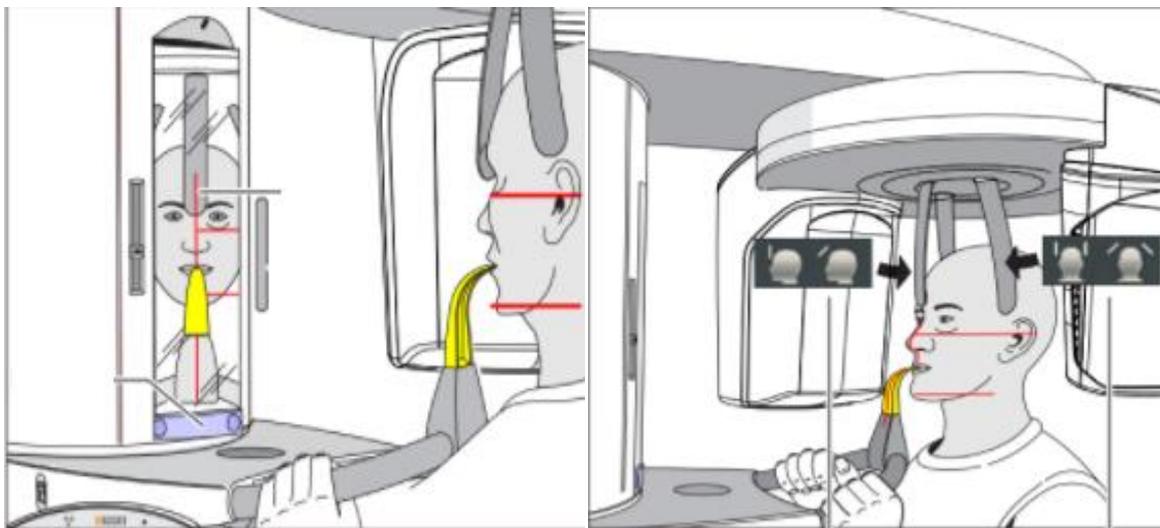


Figure 26 : Centreurs lumineux pour délimitation du volume

Le fabricant recommande de régler la tête du patient autant que possible selon le plan occlusal et de corriger le cas échéant l'inclinaison de la tête du patient (Figure 27).

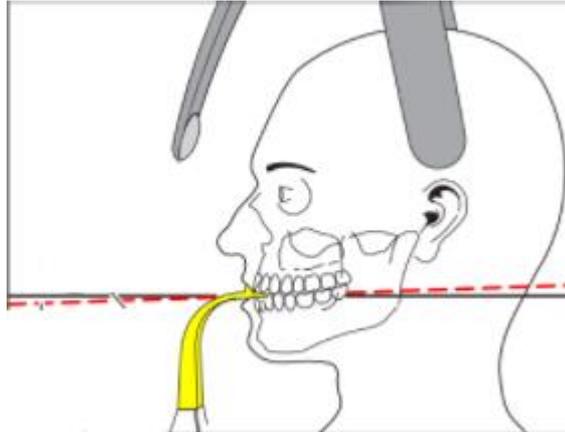


Figure 27:Réglage de la tête du patient selon le plan occlusal.

En l'absence de logiciel permettant de réorienter le volume acquis dans le plan de coupes, certains facteurs comme des gouttières adaptables à la pièce à mordre, des marquages au sol (position orthostatique) et la réalisation d'examens en position assises, pourraient favoriser une reproductibilité satisfaisante.

4.5 Le recalage d'images dans les différents logiciels

4.5.1 Définition

Le recalage d'images en trois dimensions est un procédé de superposition de deux acquisitions tridimensionnelles à des temps différents d'un même objet. Il a pour but de permettre une comparaison, à l'aide de mesures (en hauteur, en largeur ou en volume) des deux acquisitions de ce même objet à des temps différents et pouvant traduire l'évolution de son statut(Figure 28).

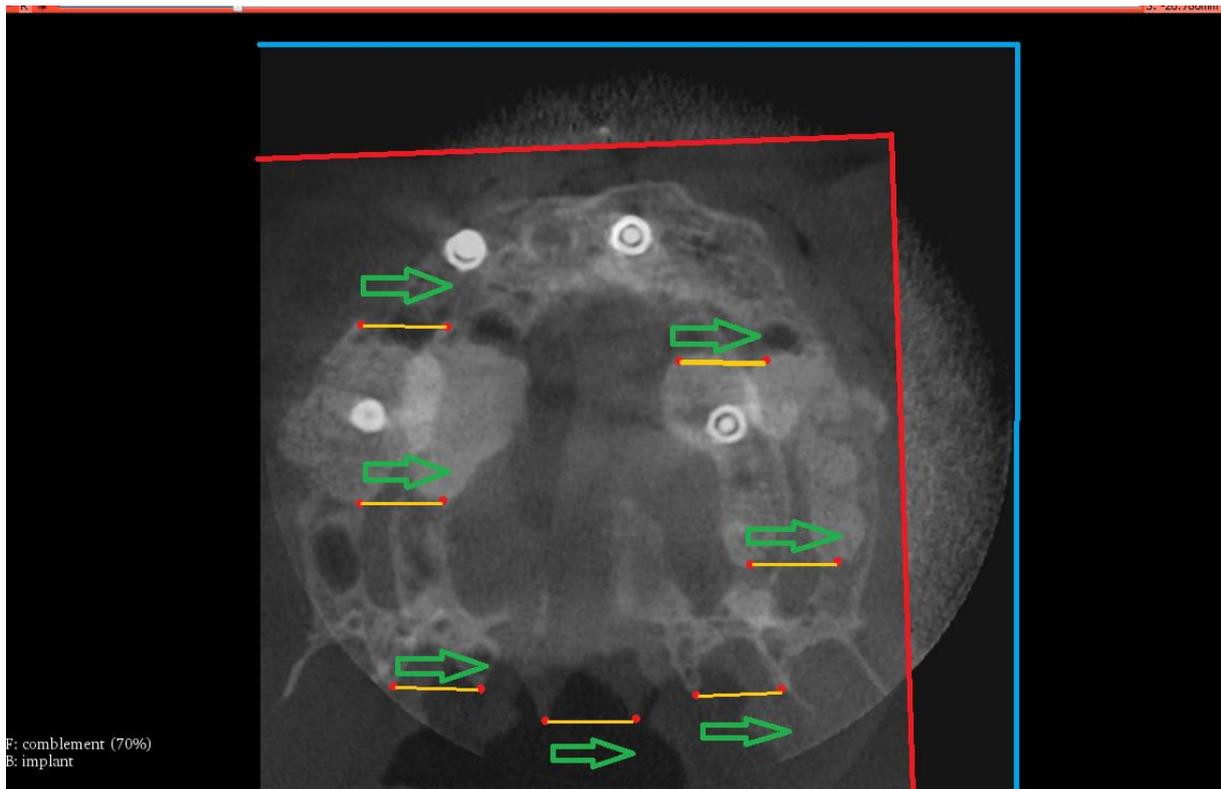


Figure 28 : Recalage d'images rigide ; sens du recalage (flèches vertes), distance de recalage (ligne jaune) ; points de références (points rouges) ; cadre rouge (CBCT T1), cadre bleu (CBCT T2)

4.5.2 Les différents types de recalages

Il existe trois types de recalage : - le recalage dit « rigide » - le recalage dit « élastique » - et le recalage appelé « mixte ».

Le recalage d'image rigide a pour but d'associer chaque voxel ou pixel d'un volume à son homologue dans un second volume. Pour ce faire une transformation spatiale est à appliquer à la seconde image comme par exemples : les translations, les changements d'échelles et les rotations tridimensionnelles pour se rapprocher de l'image issue de la première acquisition du même objet, utilisé comme référence. L'image est considérée comme rigide car aucune déformation ne lui est appliquée (Figure 29).

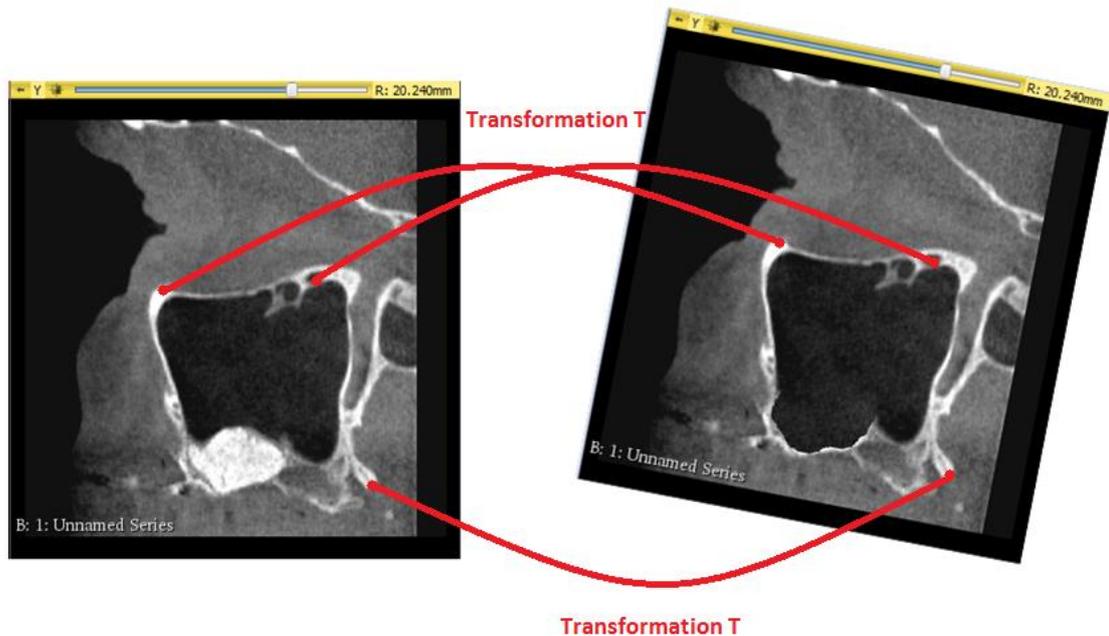


Figure 29 : Recalage d'images rigide avec application de la transformation T (rouge) au CBCT T1

Les recalages d'images «élastiques» et « mixte» (combinant à la fois l'utilisation du recalage d'image «rigide» et« élastique») ne seront pas développés car ne faisant pas parties du protocole choisi dans notre étude.

Nous avons décidé d'utiliser le recalage d'images rigide pour augmenter la précision des mesures (hauteur, largeur et volume) du comblement sur 2deux CBCT d'un patient à des intervalles de temps différents.

D'autres études ont pratiqué des mesures en hauteur et en largeur du comblement ,à des intervalles de temps différents, sur CBCT sans avoir recours au recalage d'images. Les mesures ont été faites sur chaque CBCT dans le but d'établir des moyennes pouvant être comparées. Cette méthodologie ne permet pas de s'assurer de la similitude de deux coupes pratiquées aux mêmes niveaux, du fait de la variabilité très probable du positionnement de la tête dans le plan de coupe désiré.

Pour pallier à ces difficultés nous avons choisi d'appliquer le recalage d'image rigide aux 2 CBCT du patient.

4.5.3 Les différentes méthodes de recalage

Il existe deux méthodes de recalage d'images.

Une première permet de recalibrer les deux acquisitions par l'intermédiaire de points, de surfaces ou de plans préalablement choisis.

La seconde méthode permet la superposition d'image par reconnaissance d'intensité de gris entre les voxels des 2 acquisitions.

Ces méthodes peuvent être munies d'une procédure automatisée ou non.

4.5.3.1 Recalage 3D par points, surfaces ou plans de référence

On distingue 2 protocoles possibles en fonction du choix des référentiels utilisés pour le recalage d'images.

4.5.3.1.1 Protocole de recalage à l'aide de marqueurs non anatomiques

Cette méthode est basée sur l'incorporation de repères non anatomiques et identiques dans les volumes à étudier. Elle nécessite toutefois que ces repères soient enregistrés au préalable lors de l'acquisition des différents volumes de l'objet concerné.

Bien que ce protocole soit peu utilisé dans la littérature, certains auteurs décrivent dans leurs études des gouttières occlusales contenant des marqueurs de référence incorporés, mises en bouche avant l'acquisition 3D (Figure 30). Ces derniers servent de référentiel lors du recalage rigide des deux acquisitions avant et après chirurgie orthognatique.(64)



Figure 30:Gouttières avec boule en céramique(64)

Lors de notre étude nous avons utilisé la méthode de recalage à l'aide de marqueurs ou de repères anatomiques.

Nous avons été confrontés à des difficultés liés à l'absence de certains marqueurs anatomiques sur l'une ou l'autre acquisition. Par exemple, une erreur de positionnement de tête du patient dans le champ d'acquisition ou une taille inappropriée de champ, aboutissant à la disparition certains repères anatomiques nécessaires au recalage d'image.

L'utilisation de gouttières occlusales contenant des marqueurs non anatomiques incorporés peuvent s'avérer très utile et constituer un protocole mixte(Figure 31).

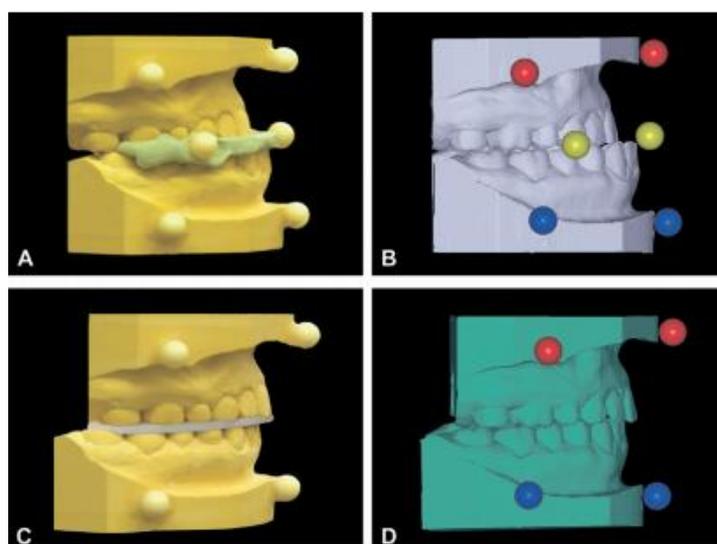


Figure 31 : Acquisition des données et reconstruction d'un modèle dentaire avant chirurgie (A et B) et après chirurgie(C et D). Modèles en plâtre (A et C) ; modèles virtuels avec repères. (Uechi et al. 2006)(64)

4.5.3.1.2 Protocole de recalage à l'aide de marqueurs anatomiques

Cette méthode a pour principe d'utiliser certains repères anatomiques comme référentiel afin d'assurer le recalage d'image 3D. Ces derniers sont sélectionnés et marqués sous forme de points ou de surfaces reproductibles et stables dans les deux volumes de l'objet à comparer. Les marqueurs anatomiques sont placés après l'acquisition des volumes.

Il existe des marqueurs anatomiques au niveau des tissus mous de la face comme au niveau du squelette osseux(65)(66).

Dans notre étude, nous ne nous intéresserons qu'aux marqueurs anatomiques squelettiques.

4.5.3.1.3 Les marqueurs anatomiques au niveau squelettique.

Certains auteurs utilisent cette méthode de recalage à l'aide de marqueurs anatomiques squelettiques dits stables (Tableau 6). Toutefois leur choix reste subjectif.

Tableau 6 : Liste non exhaustive d'études utilisant différents marqueurs anatomiques.

| Etudes | Structure(s) anatomique(s) considérée(s) comme stable(s) | Technique utilisée | Domaine d'application |
|----------------------------------|---|--|------------------------------|
| Kawamanta et al. 1998 (66) | Arcades zygomatiques Processus mastoïdes Foramens infra orbitaux | Points par points | Chirurgie Maxillo-faciale |
| Cevitanes et al.2011 (67) | Nasion Epine nasale basion | Plans de référence passant par ces trois points | Orthodontie |
| Kim et al.2012 (68) | Symphyse mandibulaire | Surface symphysaire utilisée comme point de référence | Chirurgie Maxillo-faciale |
| Park et al.2011 (69) | Partie antérieur de la base du crane | Plans de référence passant par plusieurs points | Chirurgie Maxillo-faciale |

En 2016 Lemieux et al. proposent un article sur la précision des marqueurs anatomiques concernant le maxillaire et la mandibule en vue d'un recalage d'image sur CBCT dans les 3 plans de l'espace(70)(Figure 32).

| Repères | Reconstruction 3D | Vue sagitale (YZ) | Vue Axiale (XY) | Vue coronale (XZ) |
|---|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| Nasion Point le plus antérieur de la suture fronto-nasale | | | | |
| Le foramen infra-orbitaire Le centre géométrique du foramen infra-orbitaire | | | | |
| L'épine nasale antérieure Pointe de l'épine nasale antérieure | | | | |
| Le point A Le point le plus postérieur de la concavité maxillaire | | | | |
| Le foramen incisif Le centre géométrique du foramen incisif | | | | |
| Le foramen mentonnier Le centre géométrique du foramen mentonnier | | | | |
| Lingula La pointe de l'épine de Spix | | | | |

Figure 32 : Description des repères anatomiques dans les 3 plans de l'espace(70).

Discussion :

Il serait donc souhaitable de sélectionner des marqueurs anatomiques suivant dans une future étude prospective au maxillaire car ces derniers peuvent être inclus dans le champ d'acquisition:

Le foramen infra orbitaire, le foramen incisif, le Nasion et l'épine nasale antérieure.

4.5.3.1.4 Les marqueurs anatomiques au niveau des arcades dentaires

Certains auteurs utilisent pour le recalage d'image un système de coordonnées établi à partir de points anatomiques(Figure 33, 34,35 et 36). tels que la première molaire supérieure, les cuspides, les points de contact dentaires, la papille buccoïde , l'insertion du raphé médian ou les rugosités palatines droite et gauche(71)(72)(73)(74).

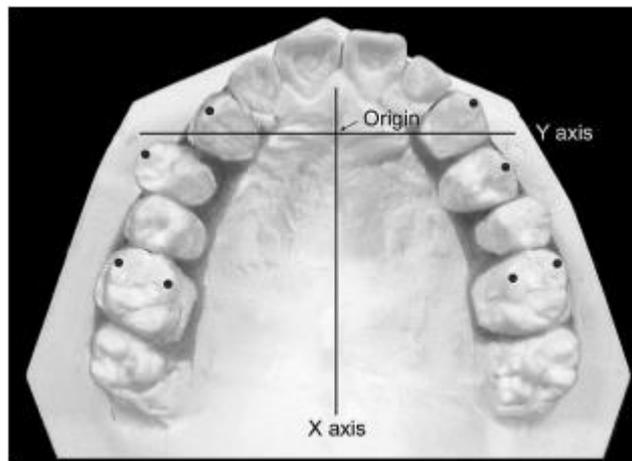


Figure 33 : Points de mesure (points noirs) et établissement d'un système de coordonnées sur un modèle en plâtre(72).

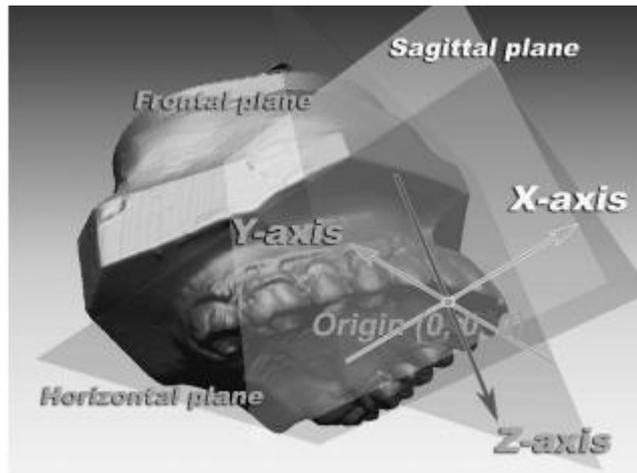


Figure 34 :Le modèle en trois dimensions numérisé. Le modèle numérique et le modèle en plâtre utilisant le même système de coordonnées (72).

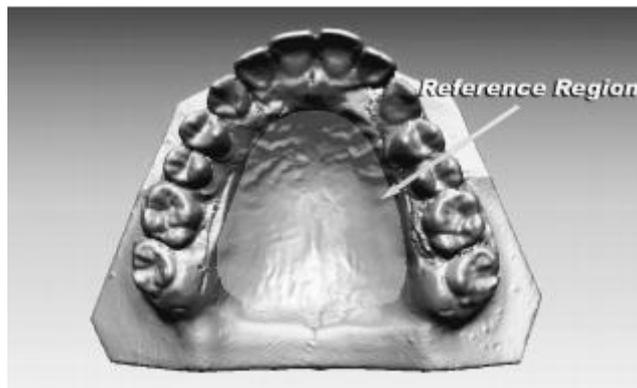


Figure 35 : La région de référence palatine utilisée pour la superposition(72).

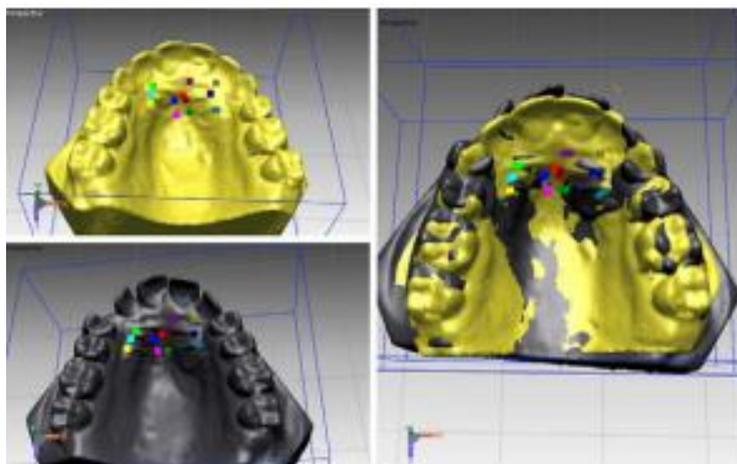


Figure 36 : Sélection de 12 points de référence considérés comme stables au palais (74).

Discussion:

Bien que certains auteurs affirment que les marqueurs palatins sont stables(74),ces derniers présentent l'inconvénient de devoir être déterminé au cas par cas. De plus certaines pathologies en dermatologie buccale peuvent altérer leur forme. Les marqueurs dentaires sont difficilement utilisables pour le recalage d'image à moins d'ignorer les mouvements dentaires en bouche(version, rotation , traitement orthodontique)

Leur nombre doit être important pour accroître la précision du recalage d'images(73)(Figure 37).

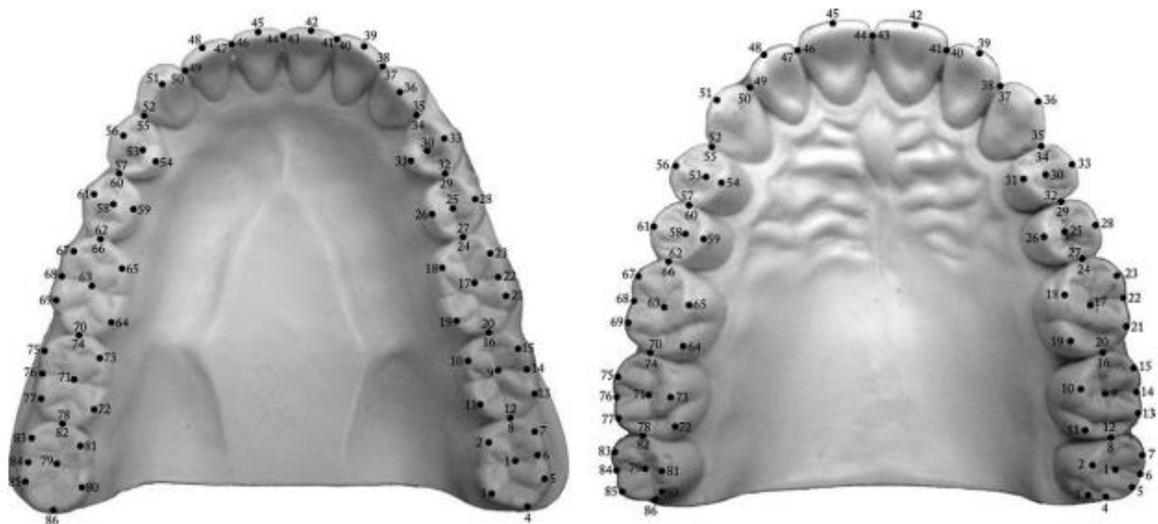


Figure 37 :Adjonction de points de référence à l'aide d'un stylet relié à un ordinateur(73).

4.5.3.2 Recalage 3D par reconnaissance d'intensités de gris

Cette méthode permet le recalage d'image 3D par superposition de chaque voxel de même niveau d'intensité de gris à l'intérieur des 2 acquisitions ou volumes de l'objet à comparer. Le logiciel réalise un recalage d'images rigide, grâce à un calcul d'algorithmes. Les opérations de rotation, de translation et de changement d'échelle sont effectuées par le logiciel de manière totalement ou partiellement automatisée(75).

Il existe deux procédures de recalage rigide par reconnaissance d'intensité de gris.

Lors de la première procédure une zone d'enregistrement 3d, considérée comme stable, est sélectionnée dans les modèles 3D et obtenue à partir des acquisitions. Le logiciel effectue un étalonnage de niveaux de gris dans cette zone afin de recalcr les 2 modèles3D (Figure 38).

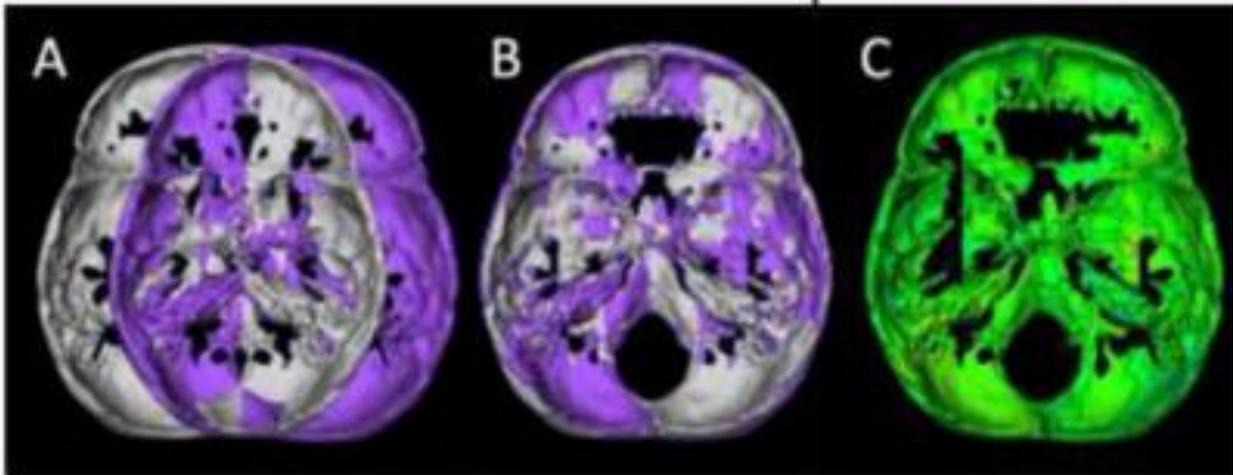


Figure 38: Effet miroir d'une partie de la base du crane à partir d'un plan arbitraire suivie d'une approche de recalage de la base crânienne. (A) modèle virtuelle originale de la base du crane du patient (couleur blanche) et modèle arbitrairement reflété(violet) (B) Résultat de la correspondance entre les modèles original et arbitrairement reflété suite à un recalage d'image basé sur l'intensité de gris des voxels. (C) , la carte de couleur de la distance entre les surfaces des modèles original et arbitrairement reflété s'élevant à 0mm (couleur verte)(67).

Cervidanés est un des auteurs à l'origine de cette procédure de recalage qu'il décrit dans de nombreuses études en orthodontie et chirurgie maxillo-faciale(76)(77)(78)(79)(80)(81)(67)(82)(83).

. Il utilise la base du crane comme zone d'enregistrement 3D pour le recalage d'images par reconnaissance de niveaux de gris (Figures 39, 40,41).

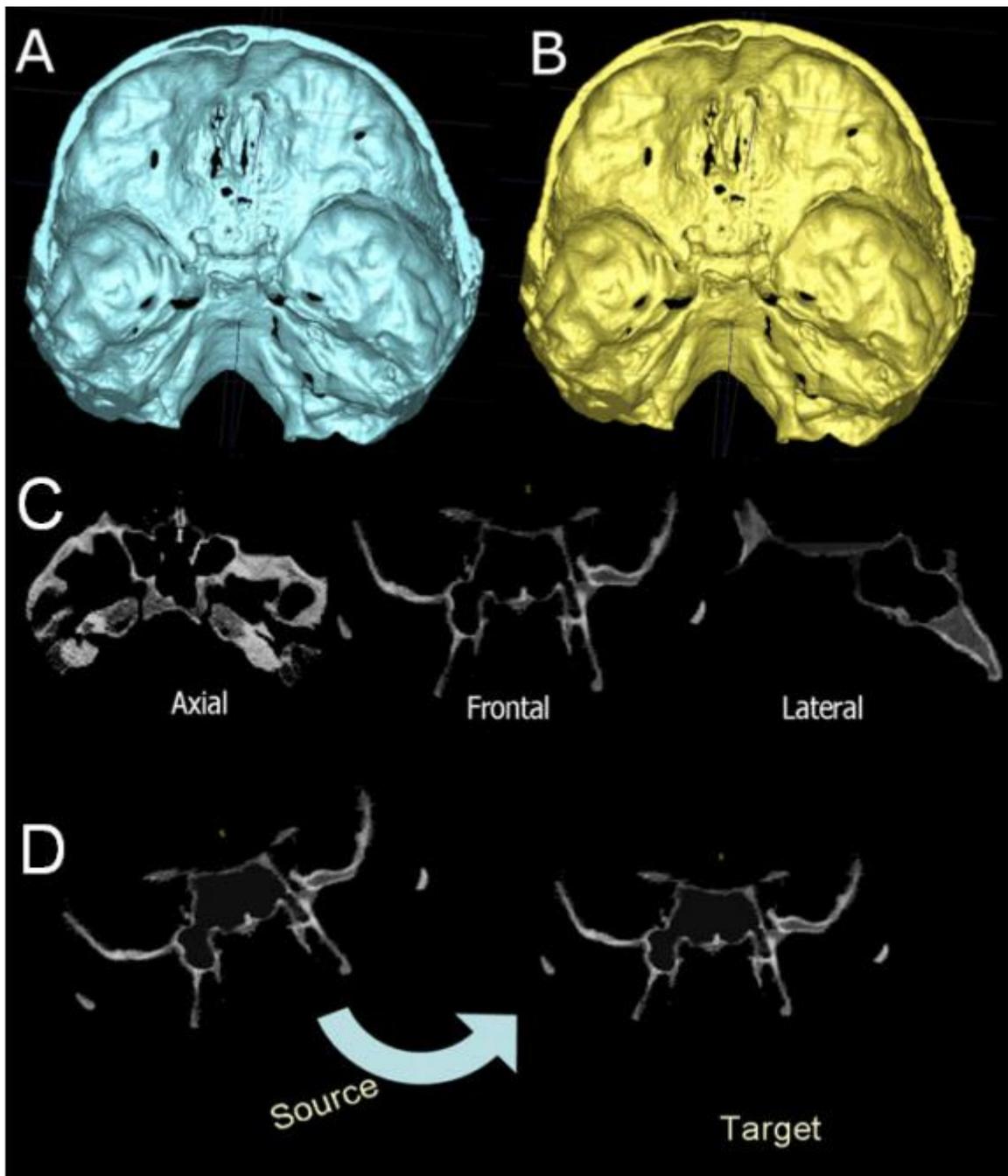


Figure 39 : Structures anatomiques utilisées pour les superpositions de modèles 3D de sujets non en croissance. A. Modèles de base crânienne avant traitement d'image, B. modèles de base crânienne en post-traitement d'image. C, le modèle en B a été utilisé pour masquer toutes les structures anatomiques qui ont changé avec le traitement d'image et générer une image de niveau de gris ne contenant que la fosse crânienne pour le calcul des paramètres de recalage. D, Calcul entièrement automatisé des paramètres de rotation et de translation entre les images (81).

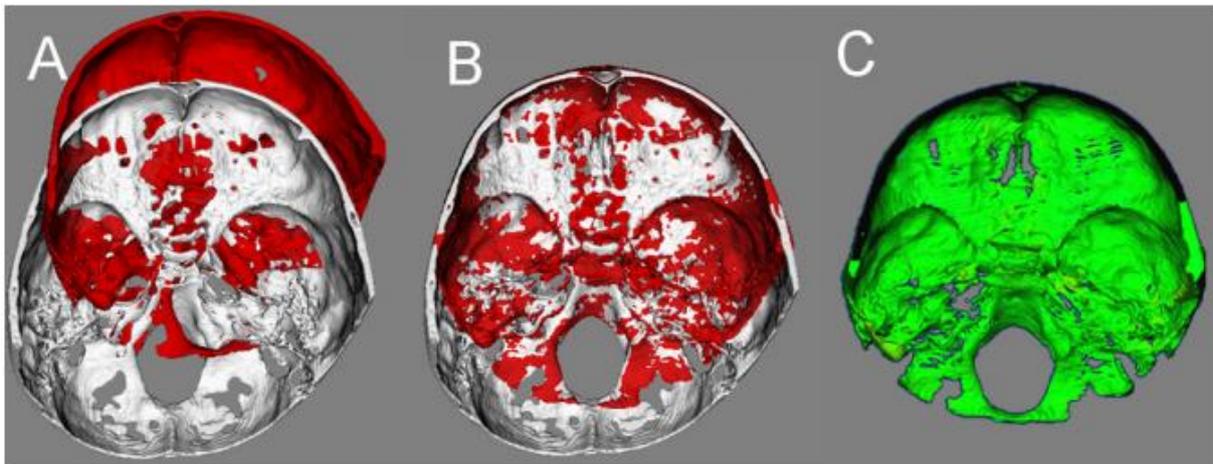


Figure 40 : Superposition et conformité de la base crânienne. A. Modèle de la base crânienne prétraitement en blanc et modèle de la base crânienne post-traitement en rouge. B. recalage d'images des bases crâniennes pré et post-traitement basé sur la reconnaissance de niveau de gris des voxels C. Carte de couleur. En vert la distance de 0mm entre les surfaces des modèles enregistrés pré et post-traitement(81).

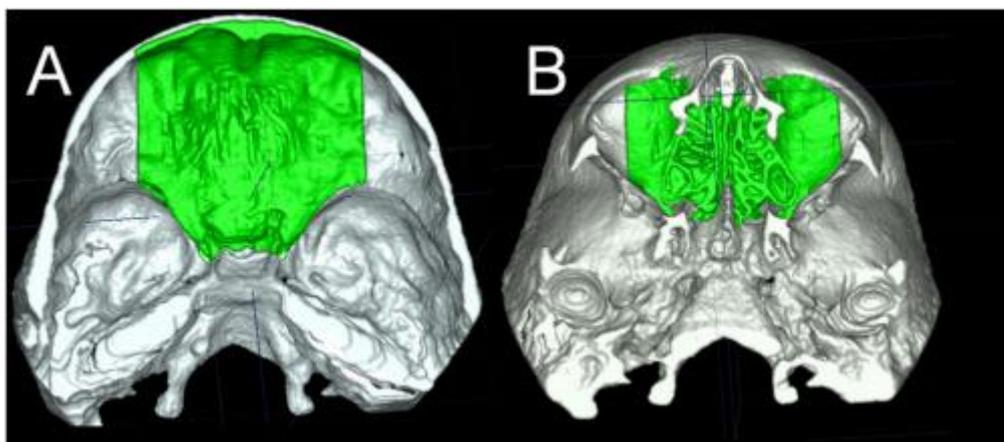


Figure 41: Structures anatomiques utilisées pour les superpositions de modèles 3D de sujets en croissance. La région de la fosse crânienne antérieure du modèles 3D de la base du crâne a été utilisée pour l'enregistrement après traitement. A montre la vue supérieure et B la vue inférieure(81)

La seconde procédure est basée sur le recalage à partir d'images DICOM. L'opérateur fixe le seuil d'unité Hounsfield le plus bas du tissu osseux qui correspond à un certain niveau d'intensité de gris dans les 2 images DICOM .Le logiciel sélectionne automatiquement tous les voxels ayant une valeur Hounsfield supérieure au seuil et effectue le recalage des deux images DICOM par reconnaissance de niveaux de gris .Le recalage d'image DICOM permet la construction de modèles 3D dans lesquels une ou plusieurs zone d'enregistrement peuvent être sélectionnées

.Les images 3D peuvent ensuite être recalées par l'intermédiaire d'une ou plusieurs zones d'enregistrement tel que la partie antérieure de la base du crane ou l'arcade zygomatique (84)(Figure 42, 43, 44, 45).

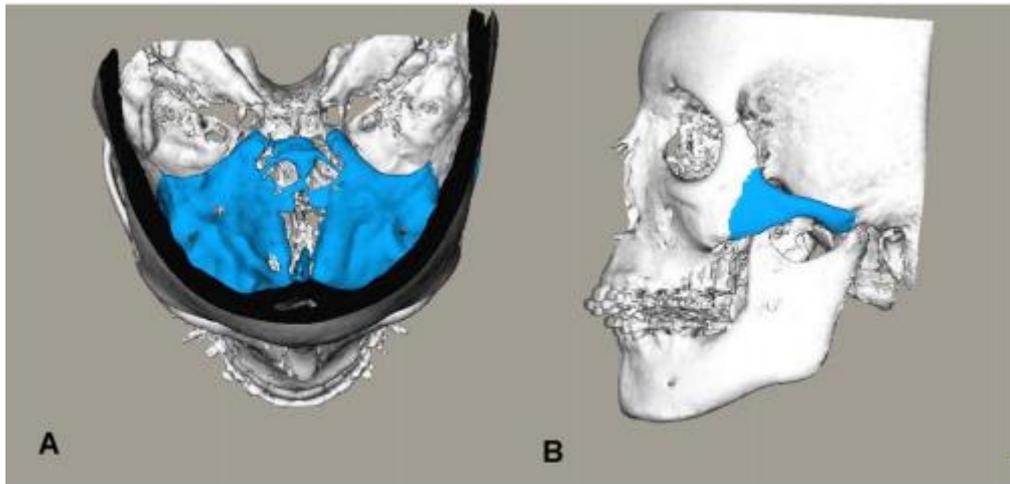


Figure 42:Structures anatomiques utilisées comme zones d'enregistrement pour le recalage d'image sur les modèles 3D issus de CBCT. (A) Base crânienne antérieure. (B) Arcade zygomatique gauche(84).

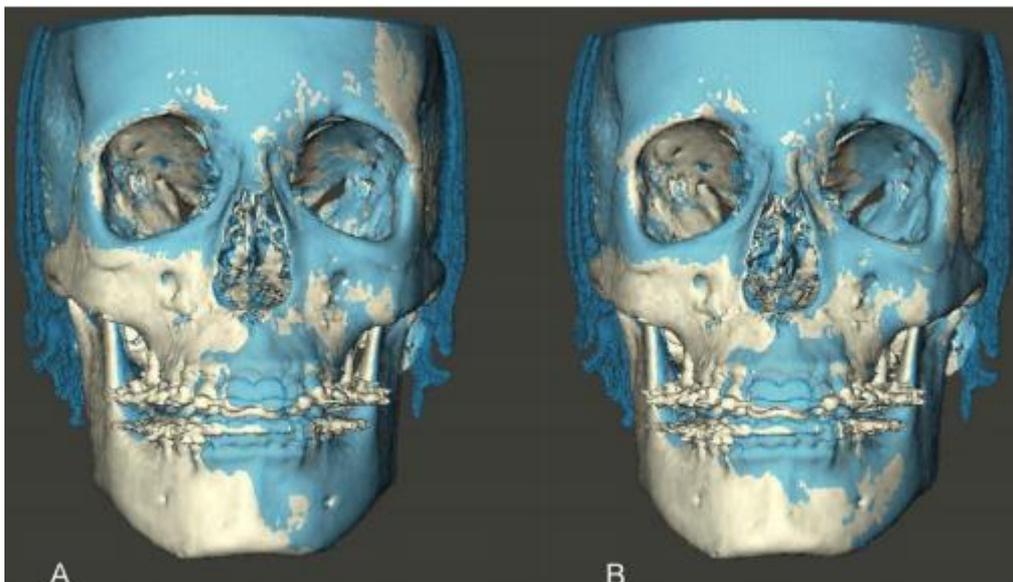


Figure 43:Correspondance par transparence des modèles 3D CBCT superposés. Vue frontale (A) modèles enregistrés sur la base crânienne antérieure. (B) Mêmes modèles enregistrés sur l'arc zygomatique gauche(84).

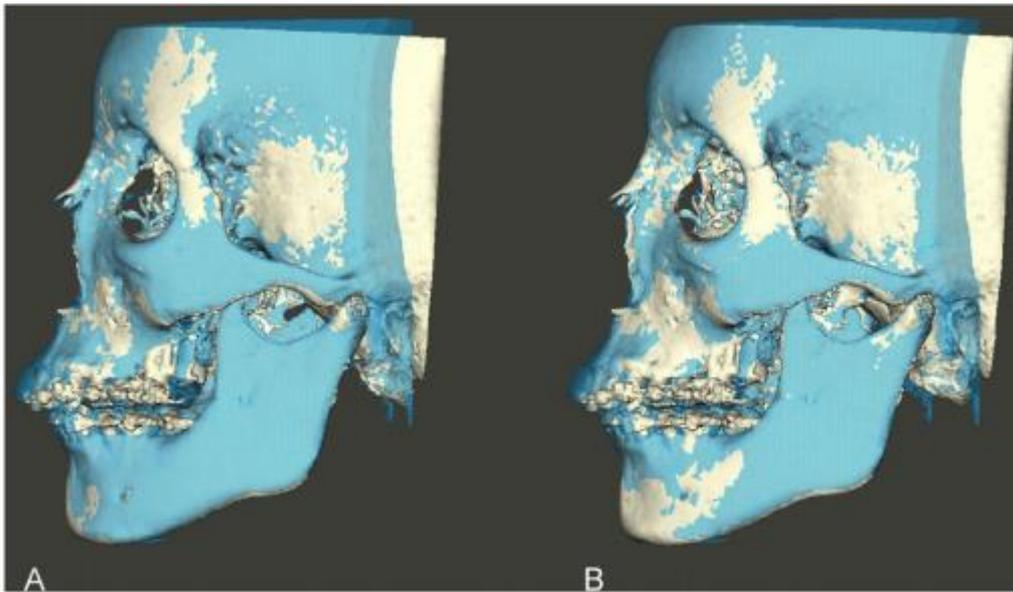


Figure 44:Correspondance par transparence des modèles 3D CBCT superposés. (A) modèles enregistrés sur la base crânienne antérieure. Vue de gauche (B) Mêmes modèles enregistrés sur l'arc zygomatique gauche(84).

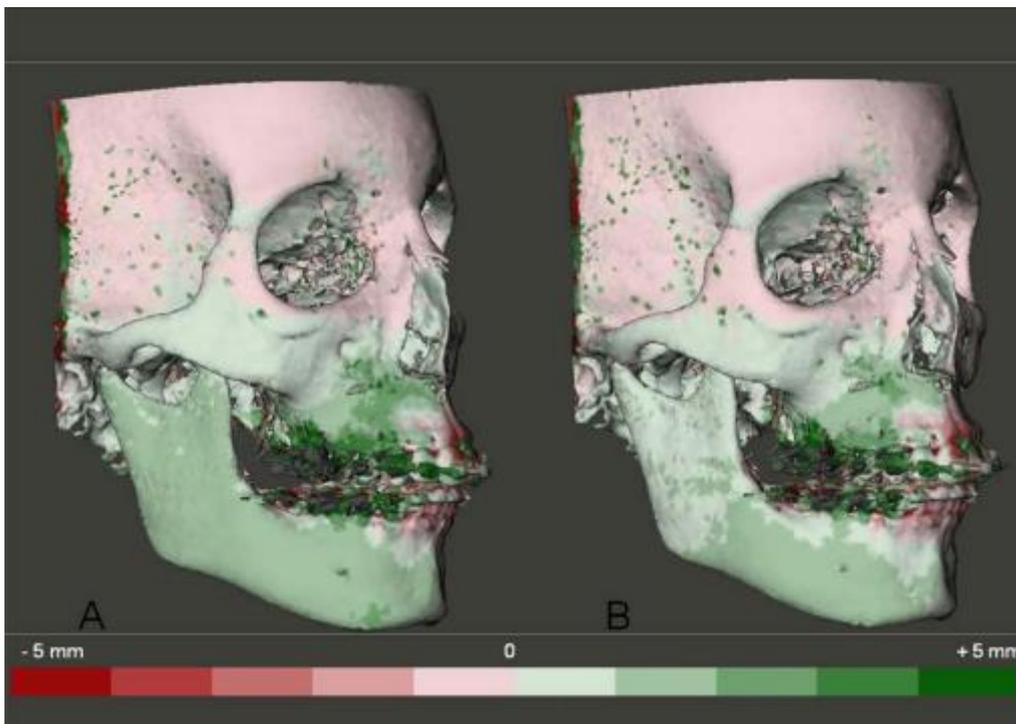


Figure 45:Cartes de distance codées par couleur pour visualiser les différences à la suite de deux superpositions des CBCT. La couleur verte indique que le modèle superposé est devant le modèle original et que la couleur rouge indique le contraire. Chaque graduation de couleur est de 1 mm.(A)modèles enregistrés sur la base crânienne antérieure. (B) mêmes modèles enregistrés sur l'arcade zygomatique gauche(84).

En 2015 Almuhtar et al. utilise le recalage d'images sur fichier DICOM par reconnaissance d'intensité de gris(85).

Discussion :

La méthode de recalage d'image par reconnaissance d'intensité de gris présente l'avantage, par rapport à celle par points, surfaces ou plans de référence, de s'émanciper des repères anatomiques ou non, qui sont très souvent opérateur dépendants.

De plus cette méthode augmente considérablement le nombre de points de comparaisons entre 2 acquisitions où chaque voxel joue le rôle de point de référence. Il en découle une augmentation de la précision de recalage d'images. Certains auteurs obtiennent des résultats avec des marges d'erreur allant de 0.06mm à 0.5 mm en matière de recalage d'images.

Gauer et al. obtient des résultats avec une marge d'erreur en matière de recalage image de 0.06mm en scannant des modèles orthodontiques par l'intermédiaire d'un scanner optique ATOS® (GOM, Braunschweig, Germany) et en utilisant le logiciel Occlusomatch® (TopService®, 3M, Bad Essen, Germany(86).

Certains auteurs parviennent à obtenir une marge d'erreur de 0.24 mm lors du recalage d'images avec le logiciel OnDemand3D® (80)(83)(87)(Figures 46, 47,et 48).

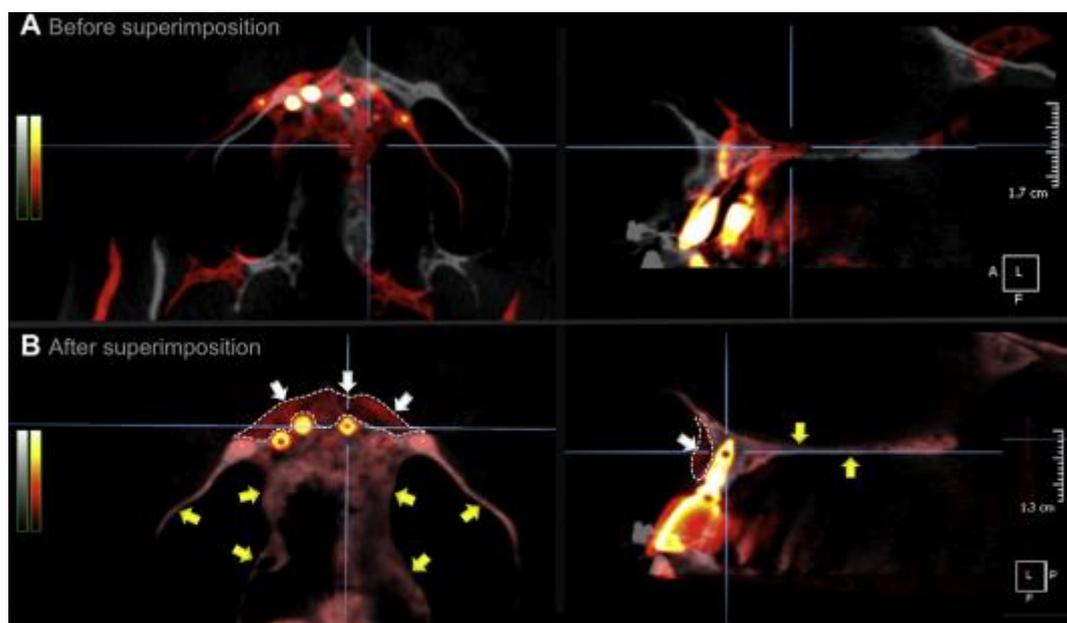


Figure 46 :A. Vue axiale et sagittale de deux CBCT avant superposition B. Vue axiale et sagittale de deux CBCT après superposition. Les flèches jaunes indiquent la correspondance entre les images gris et rouges. Les flèches blanches indiquent la zone de non concordance lors de la superposition résultant de la pose de l'implant et de la greffe osseuse(80).

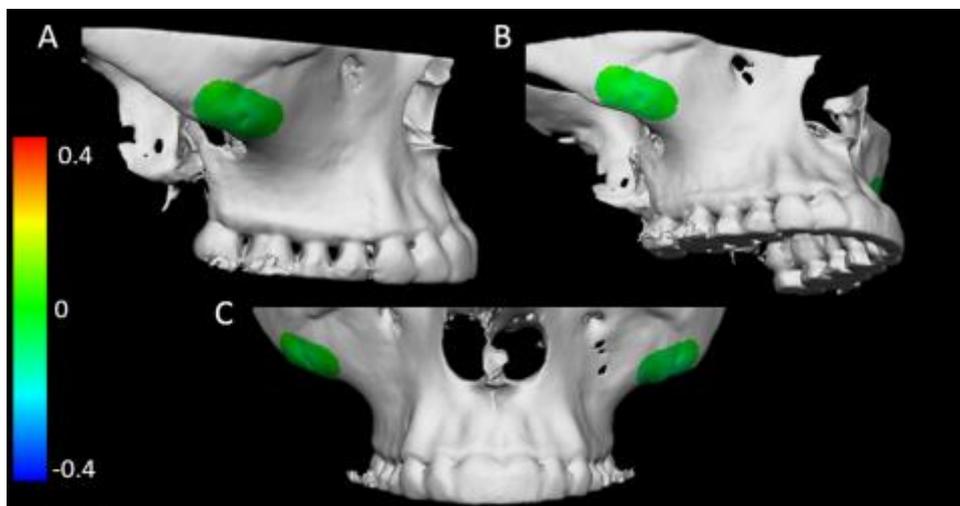


Figure 47 : Zones d'intérêt mesurées et carte à code de couleur allant de 0,4 à 0,4 mm. (A) Vue latérale du maxillaire; (B) vue latéro-inférieure du maxillaire; (C) vue antérieure du maxillaire(80).

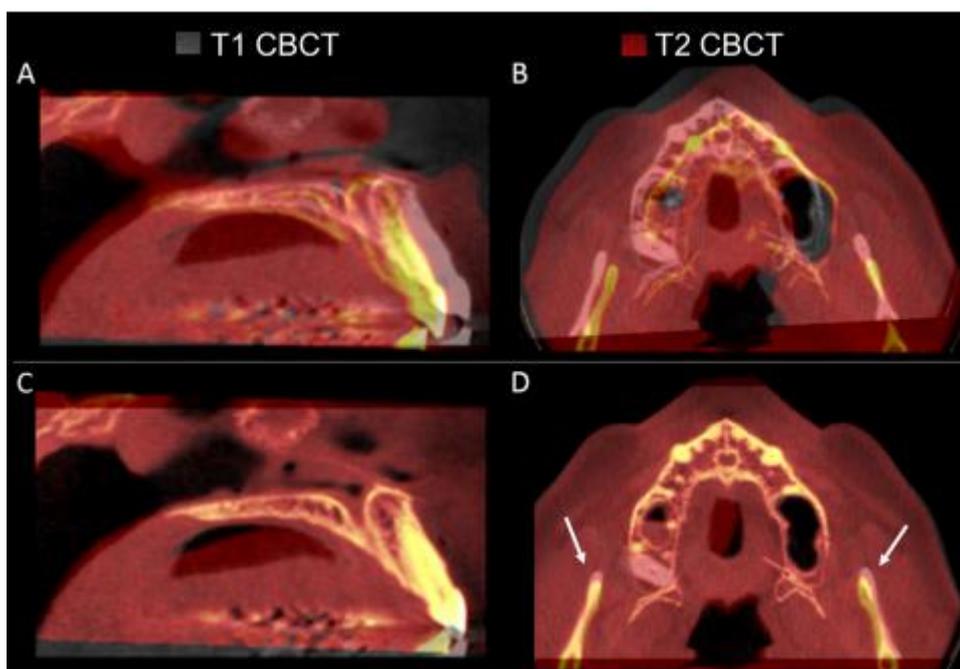


Figure 48. Vues sagittales(A) et axiales (B) du maxillaire avant superposition, et mêmes vues sagittales (C) et axiales (D) après la superposition maxillaire. Notez que

dans la zone du maxillaire, les images T1 et T2 correspondent, alors qu'à la mandibule non (flèches blanches)(80).

Selon ces auteurs les résultats sont très encourageants et leur marge d'erreur calculée est cliniquement insignifiante.

Dans notre étude nous n'avons pas pu utiliser le recalage d'image par reconnaissance de niveaux de gris sur le logiciel 3DSlicer®. Compte tenu de la variabilité des paramètres d'acquisition, tout autre logiciel n'aurait pas pu aboutir à un recalage d'images satisfaisant du fait d'un trop grand différentiel de niveaux de gris.

Il serait donc judicieux d'utiliser lors d'une future étude prospective une seule et même machine avec des paramètres et des réglages identiques pour les acquisitions.

4.5.3.3 Comparaison des deux méthodes de recalage d'images

En 2014 Alkmuktar et al. compare dans son étude la méthode de recalage par adjonction de repères anatomiques et la méthode de recalage par reconnaissance de niveaux de gris. Il arrive à la conclusion qu'il n'y pas de différence significative en matière de recalage entre ces deux méthodes.(88)

4.5.4 Logiciels utilisés :

La difficulté pour comparer les différentes études réside dans la multitude de logiciels et appareils utilisés. Le protocole unique et universel n'existe pas.

4.5.4.1 Sidexis®

Difficultés :

Le logiciel Sidexis® autorise la comparaison de deux volumes 3D ou deux coupes issues de deux CBCT respectifs. Il permet la réorientation du volume dans le plan de coupe, rendu possible par l'intermédiaire de rotations dans les 3 plans de l'espace et d'un quadrillage de positionnement(Figure 49).



Figure 49 : Logiciel Sidexis®

Discussion :

Les mesures en hauteur et en largeur du comblementsont réalisables sur les coupes.

Malheureusement ce logiciel ne dispose pas de la possibilité d'un recalage d'image.

4.5.4.2 *Simplant®* :

Difficultés :

Le logiciel *Simplant®*est un outil précieux lors de la planification implantaire mais il ne permet pas de réaliser de recalage d'image(Figure 50).

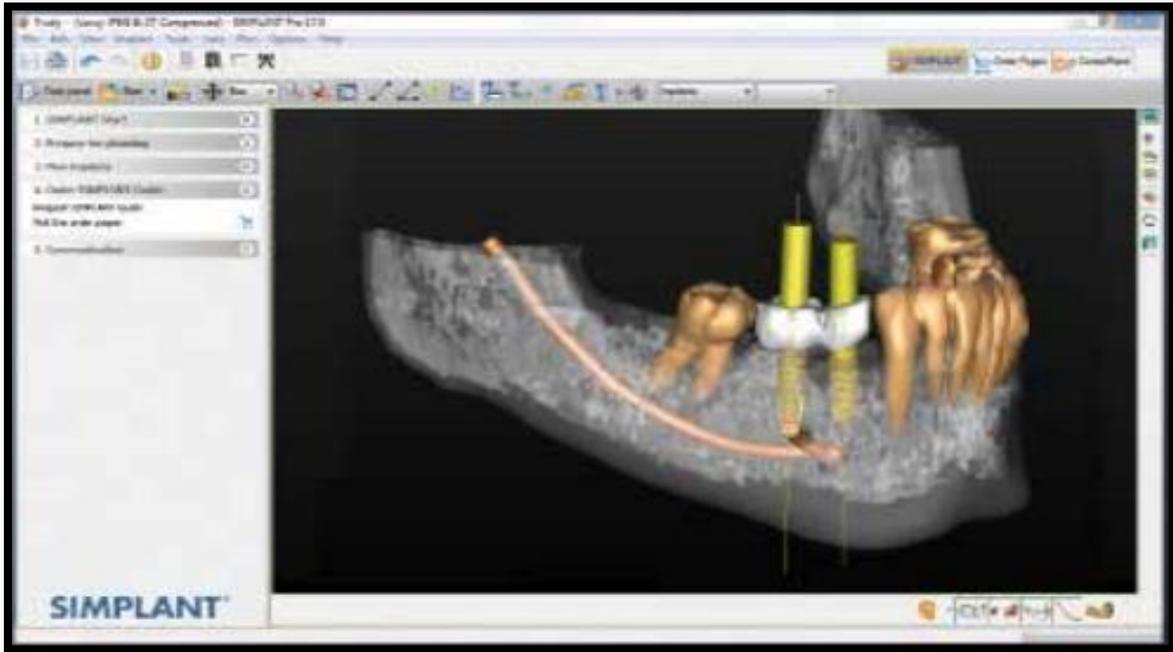


Figure 50 : Planification implantaire sur logiciel Simplant®

Des mesures en hauteur et largeur du comblement osseux sont possibles mais toute fois sans recalage d'image.

Discussion :

Le logiciel Simplant® présente l'avantage de permettre la réorientation du volume dans l'espace en modifiant la courbe panoramique dans laquelle sont réalisés les différents plans de coupes afin de les harmoniser(Figure 51).

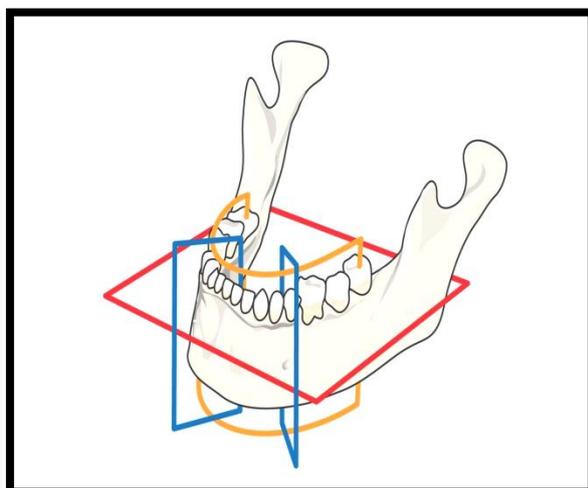
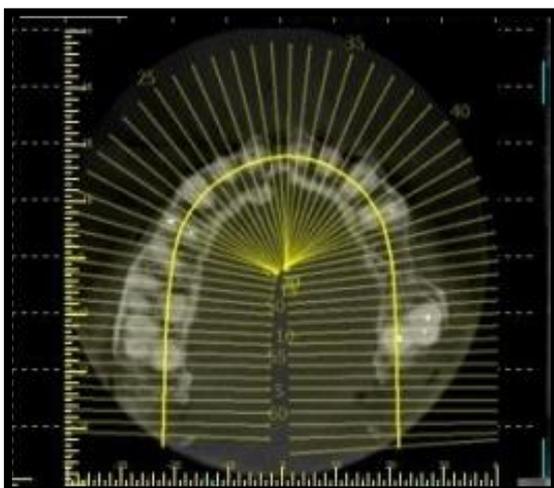


Figure 51: Logiciel Siplant®

Malheureusement il ne permet pas le recalage d'images pour augmenter la précision des mesures dans notre étude.

4.5.4.3 Seg3D®

Difficultés :

Le logiciel Seg3D autorise un recalage d'image rigide entre deux CBCT. Il présente un désavantage majeur car seules des rotations de 90° de la coupe à superposer avec la coupe de référence sont possibles. De plus le recalage d'image en utilisant des points anatomiques n'est pas possible.

Ceci conduit un recalage d'image inadapté et avec une marge d'erreur trop importante lors des mesures.

Discussion :

Le logiciel Seg3D®, s'il permet un recalage d'images occasionne malheureusement des marges d'erreur beaucoup trop importantes.

4.5.4.4 3D Slicer®

Le logiciel 3D Slicer offre un recalage d'images rigide sur les images DICOM par translation, rotation et agrandissement de l'image à superposer avec celle utilisée comme référentiel.

Difficultés

Possibilité à ce logiciel, de recalibrer 2 images par l'intermédiaire de points de référence (anatomiques ou non) mais sans autoriser le recalage d'images par la méthode de reconnaissance des intensités de gris.

Discussion :

Ce logiciel permet également, après le recalage d'images, des mesures en hauteur et en largeur à l'intérieur des coupes ainsi que des estimations volumétriques.

4.5.4.4.1 Le recalage d'image.

Notre étude a été confrontée en matière de recalage d'images à certaines difficultés occasionnées par sa nature rétrospective:

Les différentes acquisitions, sur un même patient, ont été pratiquées par plusieurs opérateurs et sur des machines radiologiques différentes.

Ces facteurs ont induit les conséquences suivantes :

- L'utilisation de réglages différents lors des diverses acquisitions pour un même patient.
- L'emploi de champs d'acquisitions de tailles multiples.
- La réalisation d'erreurs de positionnement et de centrage de la tête du patient.

Ces Facteurs ont engendré des difficultés lors du recalage d'image rigide avec la méthode par points de référence.

Difficultés rencontrées :

Les erreurs de positionnement de la tête dans le champ d'acquisition et le choix inapproprié de la taille de ce dernier engendrent des difficultés lors du recalage d'images. En effet sur certaines acquisitions et images, les points anatomiques utilisés comme points de référence au recalage sont hors champ et donc absents.

Discussion :

Pour palier à cette problématique, le logiciel 3D Slicer permet d'obtenir un recalage d'images rigide grâce aux outils d'agrandissement, rotation et translation. D'autres points de référence non-anatomiques peuvent être tracés quand les points anatomiques de références viennent à manquer. Ils sont toute fois moins stables en matière de recalage d'image et peuvent diminuer sa précision.

Une seconde alternative pourrait consister à utiliser des gouttières occlusales ou des guides chirurgicaux (à appuis dentaires) modifiés par incorporations de repères (ex barre métallique, boules de céramique). Les gouttières et guides sont placés en bouche lors de la réalisation des 2 CBCT à intervalle de temps souhaité. Les repères incorporés servent alors de point de références non-anatomiques pour le recalage d'images rigide des deux acquisitions et permettent d'augmenter la précision de ce dernier.

4.5.4.4.2 Le recalage d'image à partir de deux volumes et orientation du plan de coupes.

Difficultés rencontrées :

Dans notre étude nous avons essayé de recalcr les images DICOM issues de deux acquisitions différentes mais nous n'avons pas réussi à obtenir un recalage total.

Celui-ci incomplet est dû au fait que les 2 volumes, issus des deux acquisitions, n'ont pas une orientation identique dans le plan de coupe (Figure 52).

Le logiciel 3D Slicer® ne permet malheureusement pas de réorienter le plan de coupe ou bien le volume dans le plan de coupe, pour obtenir des images DICOM identiques. En conséquence ces images DICOM sur les coupes issues de deux acquisitions à recaler, sont initialement de fait différentes (Figures 53,54,55 et 56).

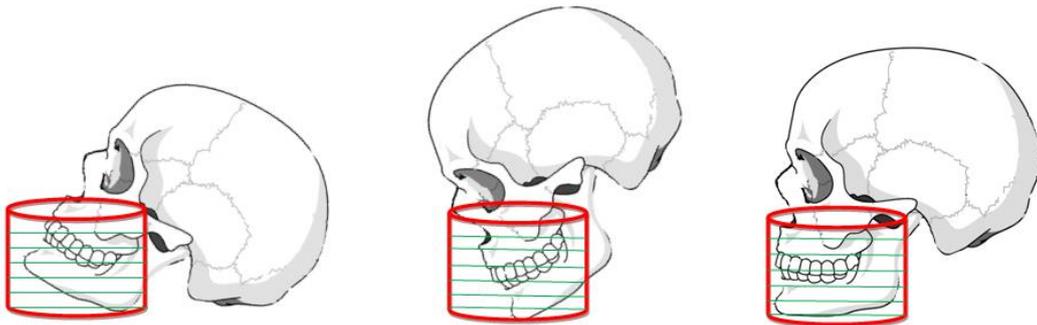


Figure 52 : Réorientation du Crâne (volume) dans le plan de coupe ; champ d'acquisition (rouge) et plan de coupe en (vert)



Figure 53 : Expérience des cylindres ; les deux cylindres sont identiques en hauteur et diamètre.

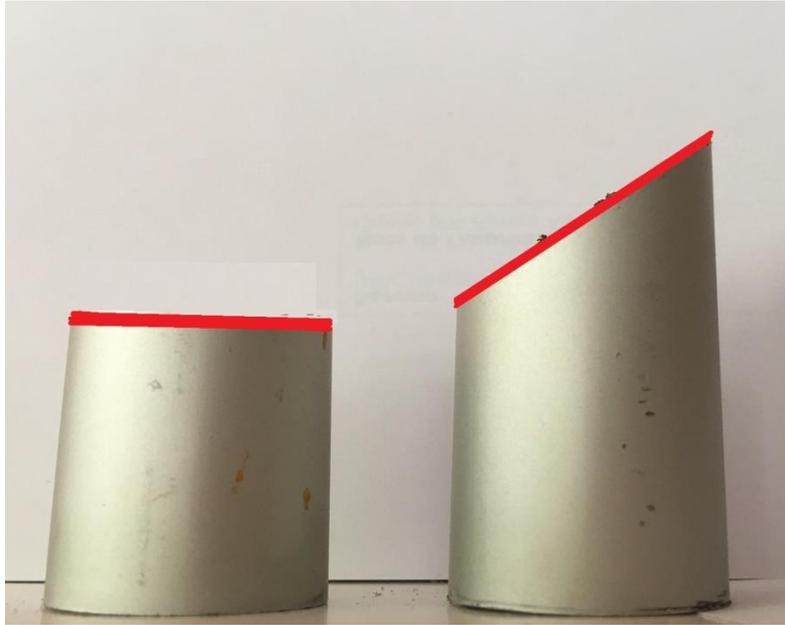


Figure 54 : Expérience des cylindres ; en rouge (plan de coupe) ; à gauche le plan de coupe est parallèle à la base du cylindre ; à droite le plan de coupe fait un angle de 45° avec l'horizontale (base du cylindre)



Figure 55 : Expérience des cylindres : coupes des cylindres

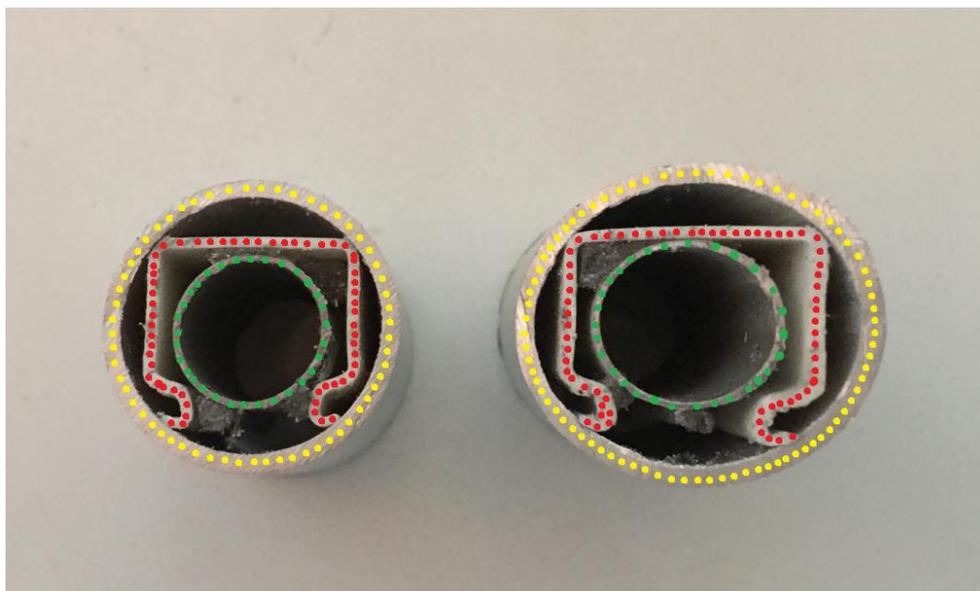


Figure 56 : Expérience des cylindres : vue arienne des coupes des cylindres. Les deux coupes sont différentes. Le recalage de celles-ci est impossible

Discussion :

Afin de palier à ces difficultés, de minimiser la marche d'erreur et d'augmenter la précision du recalage d'images certains logiciel comme OnDemand3D® permettent d'obtenir un recalage d'images à partir d'un volume (83).

Une autre alternative est de réaliser le recalage d'images sur des consoles et logiciels de radiologie qui permettent de réorienter le volume à étudier, dans le plan de coupe désiré pour obtenir des coupes homogènes entre les 2 volumes à comparer (Figure 57).

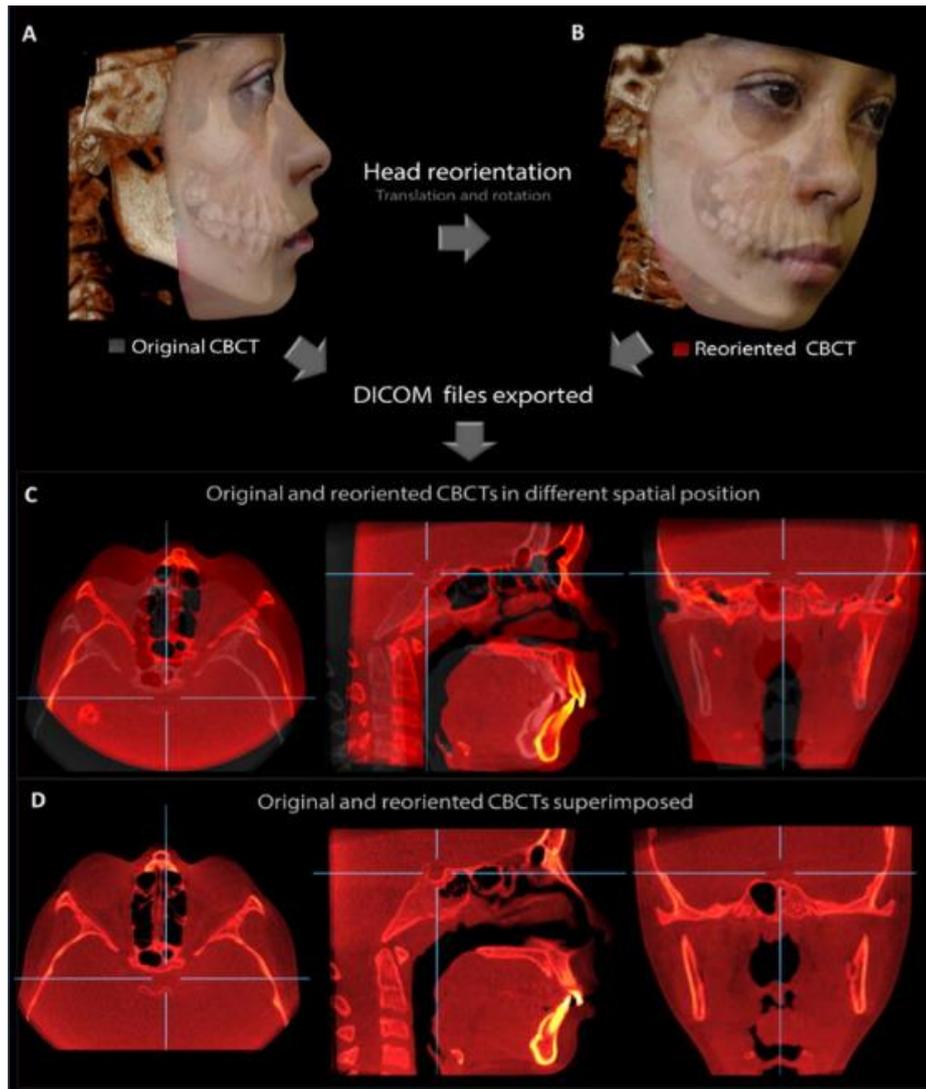


Figure 57 : Exemple d'un cas utilisé comme Gold Standard. (A) CBCT d'origine. (B) Même CBCT du patient réorienté vers une position spatiale différente. (C) Coupes de reconstruction multiplanaires montrant le CBCT original (gris) et le CBCT réorienté (rouge) avant superposition. (D) Coupes montrant à la fois le CBCT après superposition à la base crânienne antérieure (83).

4.5.4.4.3 La délimitation d'une partie d'un volume par reconnaissance d'intensités de gris (procédure automatisée)

Le logiciel 3D Slicer permet de réaliser des mesures volumétriques d'une partie d'un volume à étudier et quantifier.

Difficultés :

Le logiciel offre la possibilité d'isoler la partie du volume à étudier soit par reconnaissance d'intensité de gris soit par délimitation manuelle dans les différentes coupes.

Nous avons réalisé pour notre étude la délimitation du comblement à main levée sur chaque coupe. Des erreurs de paramétrage lors des acquisitions ainsi que l'ossification du comblement ont rendu la reconnaissance automatisée par intensités de gris impossible.

Discussion :

La délimitation à main levée du volume du comblement sur chaque coupe, dans les 3 plans de l'espace, reste une source d'erreur opérateur dépendante avec un risque de surestimation du comblement en comparaison avec un l'algorithme de reconnaissance d'intensité de gris.

Nous avons réussi à quantifier la résorption en mm^3 du volume du comblement entre CBCT T1 et CBCT T2

4.5.4.4 Délimitation entre le comblement ossifié et l'os basal du plancher sinusien.

Difficultés :

Dans notre étude les CBCT T1 ont été pratiqués 6 mois après la chirurgie de soulèvements de sinus pour vérifier l'ossification du comblement et réaliser la planification implantaire. Le temps de cicatrisation du comblement a rendu invisible la limite initiale entre comblement ossifié et os basal du plancher sinusien (figure 58).



Figure 58 : Délimitation du comblement (couleur beige) à main levée sur coupe sagittale. Limite invisible entre le comblement ossifié et l'os basal du plancher sinusien (cercle rouge).

Discussion :

Théoriquement la mesure volumétrique ne nécessite pas de recalage d'images. Toute fois lors de la délimitation du comblement ce dernier c'est révélé utile.

Le recalage d'images entre les CBCT T0 et T1 ainsi qu'entre les CBCT T0 et T2 ont permis de délimiter le volume de comblement à quantifier et comparer de manière plus précise.

Pour éliminer les difficultés et problèmes rencontrés lors de la réalisation d'une future étude prospective, certains facteurs doivent être pris en compte :

- Les paramètres de réalisation des différents CBCT doivent être identiques pour qu'un recalage d'images par reconnaissance d'intensités de gris soit possible.
- Le logiciel doit permettre un recalage d'images à partir de volumes et l'orientation de ces derniers dans le plan de coupes.
- Les CBCT T1 doivent être réalisés dans les jours qui suivent la chirurgie de soulèvements de sinus.

Cela permettra d'augmenter la précision en éliminant la surestimation des contours du comblement et d'obtenir une limite radiologique nette entre l'os basal et le matériau de comblement non ossifié. De la même manière, la différence radiologique en intensité de gris entre le matériau de comblement et l'os basal du plancher sinusien facilitera la délimitation par l'algorithme du logiciel en matière de reconnaissance d'intensité de gris.

4.5.4.4.5 Localisation de la résorption du comblement sinusien.

Dans notre étude nous avons réussi à quantifier en mm^3 la résorption du comblement, entre T1 et T2, mais nous nous sommes interrogés sur sa localisation.

Difficultés :

Nous avons voulu savoir où avait eu lieu la résorption sur le comblement du point de vue radiologique.

Discussion :

Nous nous sommes heurtés à la question de la localisation de la résorption au niveau du comblement sinusien. La résorption peut avoir lieu au niveau intrabuccal ou intra-sinusien.

Difficultés :

Nous n'avons pas pu mesurer le volume des différents sinus à comparer car ces derniers n'étaient pas inclus dans leur totalité à l'intérieur du champ d'acquisition lors de la réalisation des CBCT (Figure 59).

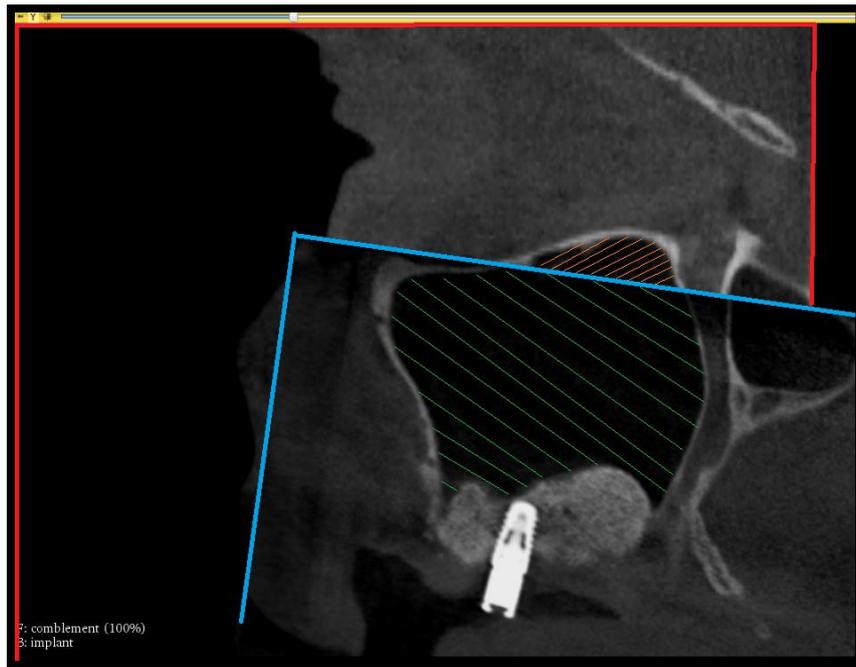


Figure 59 : Partie du sinus non inclus (surface hachurée en orange) dans le champ d'acquisition du CBCT T1 (cadre bleu). Partie du sinus inclus dans le champ d'acquisition (surface hachurée en vert). Champ d'acquisition du CBCT T2 (cadre rouge).

Discussion :

La résorption intra buccale reste aléatoire car elle dépend de l'hygiène bucco-dentaire du patient.

A fin d'écarter la résorption osseuse basale et péri implantaire, il serait judicieux dans une future étude de calculer le volume d'air intra-sinusal, permettant ainsi de quantifier la résorption osseuse intra- sinusienne des différents matériaux de comblement, induite par la repneumatisation du sinus.

Les choix adéquats de la taille du champ d'acquisition ainsi que la position de la tête du patient à l'intérieur de ce champ restent primordiaux pour le succès des mesures volumétriques.

4.5.4.4.6 Mesures en hauteur et en largeur du comblement intra-sinusal

Nous avons essayé de réaliser des mesures en hauteur et en largeur du comblement par rapport à un point arbitrairement choisi. Le but des mesures est de réaliser la moyenne en mm de la résorption à certains endroits du comblement et comparer nos résultats avec d'autres études.

Difficultés

Nous avons retrouvé des difficultés semblables à celles rencontrées lors des mesures volumétriques.

- Le choix d'un point de référence nous à été rendu très délicat par le caractère aléatoire de sa propre position (col de l'implant, limite entre le comblement ossifié et l'os basale du plancher sinusien)
- Le recalage d'images incomplet au cours de notre étude ayant occasionné une marge d'erreur en moyenne de 1.5mm concernant les mesures en hauteur, nous a contraint à ne pas prendre en considération les mesures millimétriques mais uniquement volumétriques.
- Dans notre étude, nous avons choisi arbitrairement de sélectionner les coupes tridimensionnelles centrées sur l'apex de l'implant comme point fixe de référence (CBCT T2). Dans un second temps le recalage d'images a été réalisé sur des coupes CBCT T1 superposées au mieux sur les précédentes. L'absence de repère fixe sur les coupes CBCT T1, induit nécessairement une marge d'erreur lors de la prise nos mesures millimétriques dans les 3 plans.

Discussion :

Dans une future étude prospective, la réalisation du CBCT dans les jours qui suivent la chirurgie de soulèvement de sinus permettrait de mettre en évidence l'interface radiographique nette entre l'os basal sinusien et le comblement. Ce dernier pourrait servir de ligne (ensemble de points) de référence pour les mesures millimétriques dans les différentes coupes et objectiver la localisation de la résorption intra sinusienne ou intra-buccale.

Ce CBCT permettrait la mesure de l'épaisseur correspondante à la hauteur de l'os basal du sinus et de l'interface radiologique, qui disparaissent tous deux sur les CBCT T1 et T2, se confondant avec le matériau de comblement.

Cette mesure pourrait être soustraite ultérieurement à l'épaisseur totale du comblement résiduel pour en apprécier la hauteur réelle.

5 Exemple de cas

5.1 Fiche du patient :

- Sexe Masculin, non-fumeur
- Soulevé de sinus réalisé au secteur 2
- Date du soulevé de sinus : 01/06/2010
- Date de la pose de l'implant : 10/05/2011
- Matériau de comblement : Xenograft®
- Membrane collagénique : BioGide®
- Marque des implants : Straumann®, diamètre : 4.1mm, longueur 8mm, largeur 4mm

5.2 Mesures volumétriques du matériau de comblement

- CBCT T1 :2874 mm³
- CBCT T2 :2296 mm³
- Résorption entre T1 et T2 :489mm³

5.3 Mesures millimétriques en hauteur :

Tableau 7 : Mesures du matériau de comblement à T2 en mm :

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 9.0 | 10.02 | 10.49 | 11.23 | 12.25 | 13.08 | 12.43 | 12.90 | 12.71 | 12.43 | 11.97 | 11.60 | 10.67 |
| 10.02 | 9.19 | 9.83 | 9.64 | 9.19 | 8.16 | | | | | | | |

Hauteur moyenne du comblement à T1: 10.9 mm

Tableau 8 : Mesure du comblement à T1

| | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 8.95 | 8.41 | 9.02 | 9.36 | 9..63 | 14.39 | 13.63 | 13.69 | 13.97 | 14.17 | 11.12 | 10.21 | 9.60 |
| 8.74 | 9.28 | 8.87 | 8.34 | 6.82 | | | | | | | | |

Hauteur moyenne du comblement à T2 : 10.45 mm

Hauteur moyenne du comblement à T1 - moyenne du comblement à T2

= Résorption moyenne en hauteur

La résorption moyenne du comblement = $10.9 - 10.4 = 0.5\text{mm}$

6 Protocole proposé

6.1 Sommaire

6.2 Justification scientifique et description générale de la recherche

Cette recherche permet d'aider le chirurgien-dentiste à estimer la résorption intra sinusienne et intra buccale du matériau de comblement après une chirurgie de soulèvement de sinus. Elle permet au praticien d'adapter le choix du matériau de comblement et sa quantité initiale pour améliorer la thérapeutique du patient.

Pour ce faire nous proposons une étude prospective sur l'évolution radiologique des soulèvements de sinus par voie latérale dans le temps.

6.3 Objectifs de la recherche :

6.3.1 Objectif principal

L'objectif principal de notre étude est de démontrer qu'il existe une résorption du matériau de comblement dans le temps.

6.3.2 Objectifs secondaires

Les objectifs secondaires sont :

1. la quantification de la résorption
2. la localisation de la résorption
3. Déterminer un seuil pathologique de résorption
4. L'évaluation de la durée de vie du comblement en fonction du matériau de comblement utilisé lors du soulèvement de sinus
5. Évaluer les facteurs de risque de mauvaise vie de l'implant

6.4 Conception de la recherche :

6.4.1 Critère d'évaluation principal

Mesures volumétriques du matériau de comblement sur CBCT.

6.4.2 Critère d'évaluation secondaire

1. Mesures volumétriques sur le logiciel OnDemand3D®
2. Déterminer l'origine de la résorption intrabuccale ou intra-sinusienne
3. Déterminer le volume osseux péri-implantaire insuffisant pour le maintien de l'implant
4. Nombre de mois avant d'atteindre le seuil pathologique de résorption
5. Age, sexe, tabac.

6.4.3 Déroulement de la recherche

Réalisation d'une étude prospective, transversale et observationnelle d'une cohorte de patients suivie dans le département de Parodontologie et d'Implantologie Orale du Centre hospitalier régional universitaire de Nancy.

Le but de notre étude est l'analyse radiologique de l'évolution du comblement intrasinusien dans le temps, suite à un soulevé de sinus par voie latérale.

6.4.3.1 Matériels et méthodes

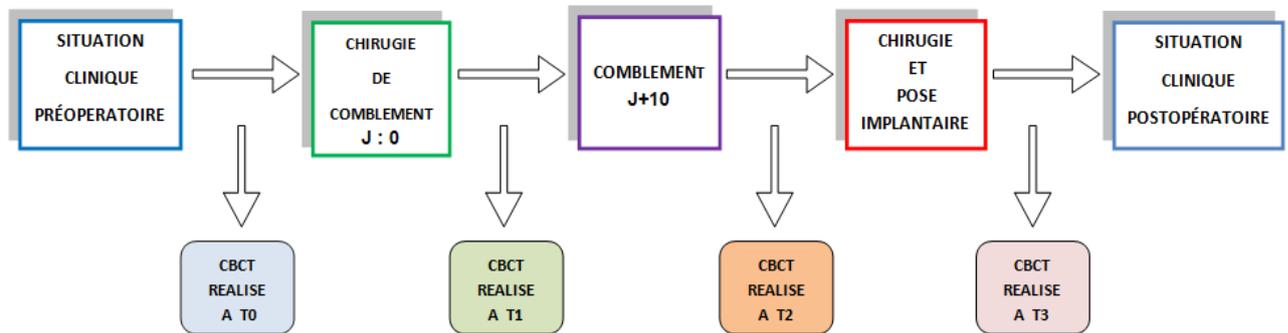


Figure 60 : Chronologie des examens radiographiques CBCT chez un même patient

Le CBCT à T0 (Figure 55), correspond à l'examen radiologique de diagnostic initial pour l'analyse de la situation clinique du sinus maxillaire et de la crête alvéolaire, permettant d'aboutir à l'indication thérapeutique de soulèvement de sinus par voie latérale.

Le CBCT à T1 (Figure 55) correspond à l'examen radiologique 10 jours après la chirurgie de comblement. Il permet de mettre en évidence la limite ou interface entre l'os basal du plancher sinusien et le matériau de comblement non ossifié.

Le CBCT à T2 (Figure 55) correspond à l'examen radiologique 6 mois après la chirurgie de comblement. Il est nécessaire pour vérifier la maturation et la qualité osseuse du comblement. Il permet également de planifier la pose des futurs implants endo-osseux sur logiciel informatique.

Le CBCT à T3 (Figure 55) correspond à l'examen radiologique de contrôle 2 ans après la pose des implants lors du suivi thérapeutique du patient. Il est pratiqué dans le but de contrôler la cicatrisation et la bonne santé des implants endo-osseux.

Tableau 9 : Incorporation de l'étude prospective dans la prise en charge du patient.

| ACTIONS | |
|--|---|
| Information sur l'étude | X |
| Recueil du consentement écrit | X |
| Vérification des critères d'inclusion et de non inclusion | X |
| Interrogatoire médical et recueil des traitements médicamenteux | V |
| Examen intrabuccal | V |
| Examen radiologique 3D type CBCT préopératoire (CBCT T0) | V |
| Examen radiologique 3D type CBCT après chirurgie de soulèvement de sinus par voie latérale (CBCT T1) | X |
| Examen radiologique 3D type CBCT pour la planification implantaire (CBCT T2) | V |
| Examen radiologique 3D type CBCT pour le contrôle de cicatrisation et bonne santé des implants (CBCT T3) | V |
| - V : suivi habituel - X : spécifique à l'étude | |

- Le matériel radiologique utilisé :Sironna® Orthophos XG 3D
- Logiciels utilisés :
 - Sidexis® visualisation et validation de l'examen
 - OnDemand3D® : réorientation du volume dans le plan de coupe, recalage d'image rigide par intensité de gris des CBCT à superposer, mesures volumétriques et millimétriques

6.4.3.2 Résultats :

- Interprétations des mesures volumétriques et millimétriques.
- Elaboration de statistiques sur le logiciel Statistica®

6.4.3.3 Discussion :

- Comparaison et confrontation de nos résultats et statistiques comparatives à d'autres études dans la littérature.

6.4.3.4 Conclusion

6.5 Population étudiée

6.5.1 Description de la population à étudier

Patients homme ou femme majeurs, nécessitant un soulèvement de sinus par voie latérale en vue d'une réhabilitation implantaire.

6.5.2 Modalité de recrutement

Patients volontaires, se présentant en consultation dans le département de Parodontologie et d'Implantologie Orale du CHRU de Nancy et désireux de bénéficier d'une réhabilitation implantaire associée à un soulèvement de sinus par voie latérale.

Explications par l'opérateur de la technique utilisée, de la balance bénéfices/risques du traitement et de l'inclusion à l'étude.

6.5.3 Critères d'inclusion

Homme ou femme majeurs, volontaires, nécessitant un soulèvement de sinus par voie latérale en vue d'une réhabilitation implantaire.

6.5.4 Critère d'exclusion

- Femme enceinte,
- La rupture de la membrane de Schneider lors du soulèvement de sinus
- Les soulèvements de sinus par voie crestale,
- Les patients souffrant de pathologies sinusiennes
- Les patients souffrant de pathologies générales affectant la nature de l'os :
 - Ostéoporose
 - Pathologies cancéreuses
 - Ostéonécroses
 - Radionécroses
- Les patients sous traitement pouvant affecter la nature et la cicatrisation de l'os :
 - Les biphosphonates
 - La radiothérapie
 - La chimiothérapie

6.6 Matériel et méthode

6.6.1 Déroulement de l'étude :

6.6.1.1 Consultation dans le département de Parodontologie et d'Implantologie Orale de la faculté de chirurgie dentaire de Nancy.

- Recueil des données administratives : Adresse et numéro de téléphone
- Questionnaire médical : Interrogatoire médical et recueil des traitements médicamenteux

- Examen intrabuccal
- Information sur l'étude
- Questionnaire standardisé : Vérification des critères d'inclusion et de non inclusion
- Recueil du consentement éclairé et écrit

6.6.2 Réalisation de l'Examen radiologique 3D CBCT T0 :

Le CBCT à T0, correspond à l'examen radiologique de diagnostic initial pour l'analyse de la situation clinique du sinus maxillaire et de la crête alvéolaire, permettant d'aboutir à l'indication thérapeutique de soulèvement de sinus par voie latérale.

6.6.2.1 Protocole de réalisation de l'examen radiologique :

- Utilisation de l'appareil radiologique: Sironna® Orthophos XG 3D®
- Paramétrage de la machine radiologique
- Utilisation du protocole standardisé de réalisation de l'examen radiologique 3D type CBCT (voir Annexe 2)
- Positionnement de la tête
- Utilisation d'une gouttière occlusale adaptable à la pièce à mordre
- Marquage au sol.

6.6.2.2 Traitement d'image sur le logiciel Sidexis® :

Le logiciel Sidexis® permet à l'opérateur de visualiser et valider l'examen radiologique réalisé.

6.6.2.3 Enregistrement des données DICOM sur CD ROM :

L'examen original sur CD Rom est remis au patient en lui expliquant la nécessité de le garder précieusement .Une copie sera stockée et archivée pour l'opérateur.

6.6.3 Chirurgie de comblement :

Après avoir réalisé le CBCT T0 le patient se voit attribuer un rendez-vous en vue de la chirurgie de soulevé de sinus par voie latérale.

L'opérateur doit remplir la fiche de renseignements lors de la chirurgie de soulevé de sinus par voie latérale (Annexe 3).

6.6.4 Réalisation de l'Examen radiologique CBCT T1:

Le CBCT à T1 correspond à l'examen radiologique 10 jours après la chirurgie de comblement. Il permet de mettre en évidence la limite ou interface entre le l'os basal du plancher sinusien et le matériau de comblement non ossifié.

6.6.4.1 Protocole de réalisation de l'examen radiologique :

- Utilisation de l'appareil radiologique: Sironna® Orthophos XG 3D®
- Paramétrage de la machine radiologique
- Utilisation du protocole standardisé de réalisation de l'examen radiologique 3D type CBCT (voir Annexe 2)
- Attention les paramètres de la machine Sironna® Orthophos XG 3D® doivent être identiques avec ceux utilisés lors du précédent examen 3D (CBCT T0)
- Positionnement de la tête
- Utilisation d'une gouttière occlusale adaptable à la pièce à mordre
- Marquage au sol.

6.6.4.2 Traitement d'image sur le logiciel Sidexis® :

Le logiciel Sidexis® permet à l'opérateur de visualiser et valider l'examen radiologique réalisé.

6.6.4.3 Enregistrement des données DICOM sur CD ROM :

L'examen original sur CD Rom est remis au patient en lui expliquant la nécessité de le garder précieusement .Une copie sera stockée et archivée pour l'opérateur.

6.6.5 Réalisation de l'Examen radiographique CBCT T2 :

Le CBCT à T2 (Figure 55) correspond à l'examen radiologique 6 mois après la chirurgie de comblement. Il est nécessaire pour vérifier la maturation et la qualité osseuse du comblement. Il permet également de planifier la pose des futurs implants endo-osseux sur logiciel informatique.

6.6.5.1 Protocole de réalisation de l'examen radiologique :

- Utilisation de l'appareil radiologique: Sironna® Orthophos XG 3D®
- Paramétrage de la machine radiologique
- Utilisation du protocole standardisé de réalisation de l'examen radiologique 3D type CBCT (voir Annexe 2)
- Attention les paramètres de la machine Sironna® Orthophos XG 3D® doivent être identiques ceux utilisés lors des précédents examens 3D (CBCT T0 et T1)
- Positionnement de la tête
- Utilisation d'une gouttière occlusale adaptable à la pièce à mordre
- Marquage au sol.

6.6.5.2 Traitement d'image sur le logiciel Sidexis® :

Le logiciel Sidexis® permet à l'opérateur de visualiser et valider l'examen radiologique réalisé.

6.6.5.3 Enregistrement des données DICOM sur CD ROM :

L'examen original sur CD Rom est remis au patient en lui expliquant la nécessité de le garder précieusement .Une copie sera stockée et archivée pour l'opérateur.

6.6.6 Chirurgie et pose implantaire :

Après avoir réalisé le CBCT T2 le patient se voit attribuer un rendez-vous pour la mise en place des implants endo-osseux.

L'opérateur doit remplir la fiche de renseignements lors de la chirurgie et pose implantaire (voir Annexe 4).

6.6.7 Réalisation de l'examen radiologique CBCT T3 :

Le CBCT à T3 (Figure 55) correspond à l'examen radiologique de contrôle, 2 ans après la pose des implants, comme suivi thérapeutique du patient. Il est pratiqué dans le but de contrôler la cicatrisation et la bonne santé des implants endo-osseux.

6.6.7.1 Protocole de réalisation de l'examen radiologique :

- Utilisation de l'appareil radiologique: Sironna® Orthophos XG 3D®
- Paramétrage de la machine radiologique
- Utilisation du protocole standardisé de réalisation de l'examen radiologique 3D type CBCT (voir Annexe 2)
- Attention les paramètres de la machine Sironna® Orthophos XG 3D® doivent être identiques à ceux utilisés lors des précédents examens 3D (CBCT T0, T1et T2)
- Positionnement de la tête
- Utilisation d'une gouttière occlusale adaptable à la pièce à mordre
- Marquage au sol.

6.6.7.2 Traitement d'image sur le logiciel Sidexis® :

Le logiciel Sidexis® permet à l'opérateur de visualiser et valider l'examen radiologique réalisé.

6.6.7.3 Enregistrement des données DICOM sur CD ROM :

L'examen original sur CD Rom est remis au patient en lui expliquant la nécessité de le garder précieusement .Une copie sera stockée et archivée pour l'opérateur.

6.6.8 Recalage d'image entre le CBCT T1 et les CBCT T2 ou T3.

Transfer des données vers le logiciel OnDemand3D®:

Réorientation du volume dans le plan de coupe

Recalage d'image rigide par intensité de gris des CBCT à superposer.

6.6.9 Mesures millimétriques et volumétriques :

L'opérateur utilise l'interface dit« suprabasal » entre le l'os basal du plancher sinusien et le matériau de comblement comme ligne (ensemble de points) de référence pour réaliser ses mesures (Figure 56 ; A. et B. ; bleu ciel)

6.6.9.1 Mesures millimétriques :

L'utilisation de l'interface radiologique suprabasal permettrait à un opérateur désirant faire ses propres mesures de les comparer à celles de la littérature.

6.6.9.2 Mesures volumétriques :

- **Résorption intra-sinusienne du comblement :**

Afin de quantifier la résorption intra sinusienne du matériau de comblement, l'opérateur mesure le volume d'air intra-sinusal sur les CBCT T1 et CBCT T2 ou T3.

Il quantifie la résorption osseuse entre les intervalles de temps T1 et T2 à l'aide de la formule suivante :

Résorption du matériau de comblement intra-sinusal (mm^3) =

Volume 1 du matériau de comblement (Figure 56 ; A. ; jaune) CBCT T1 (mm^3) –
Volume du matériau de comblement V2 (Figure 56 ; B ; jaune) CBCT T2 ou T3
(mm^3)

- **Résorption intrabuccale du comblement :**

Résorption péri-implantaire au dessus de l'interface suprabasal (Figure 56 ; B. ; Bleu foncé+Rouge) - volume de l'extrémité de l'implant situés au dessus de l'interface suprabasal (Figure 61 ; B. ; bleu foncé). .

- **Résorption totale du comblement :**

Elle représente la somme des résorptions intra-sinuales et intrabuccale qui peut se traduire par la formule :

Résorption totale= Volume 1de Matériau de comblement initial (Figure 61 ; A. ; Volume1) – (Résorption intra-sinuale (Figure 57 ; B. ; Blanc) + Résorption intrabuccale(Figure 57 ; B. ; rouge).)

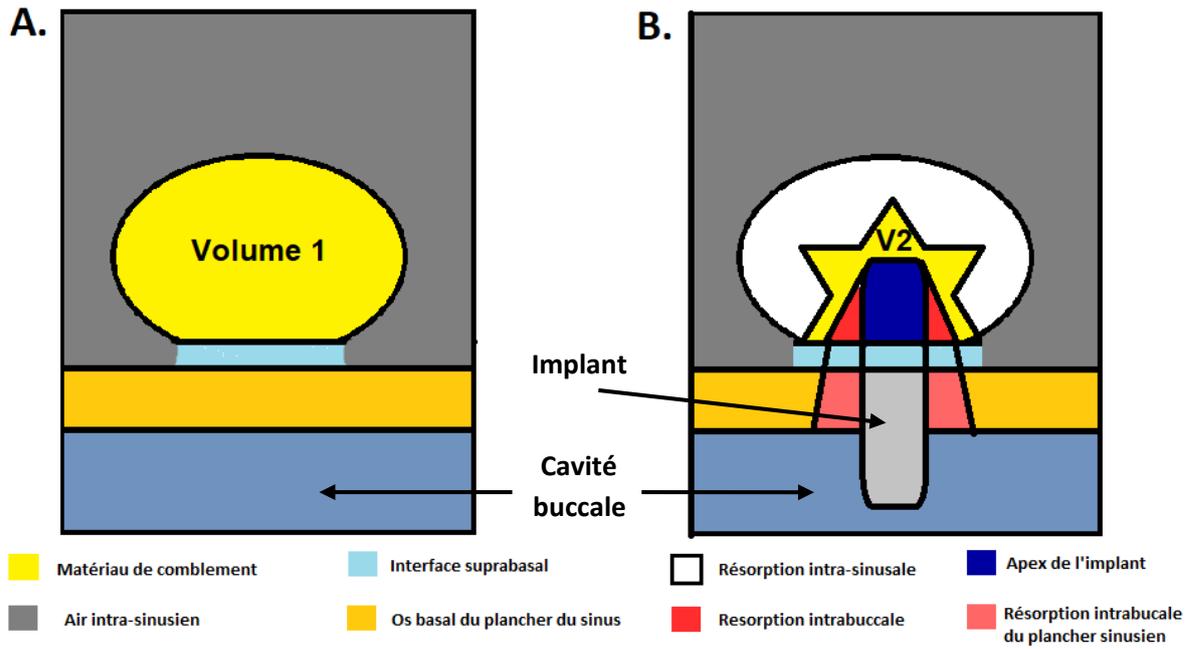


Figure 61 : Exemple des évaluations des résorptions du matériau de comblement aux niveaux intrasinusien et intrabuccal. A. CBCT T1 ; B. CBCT T3

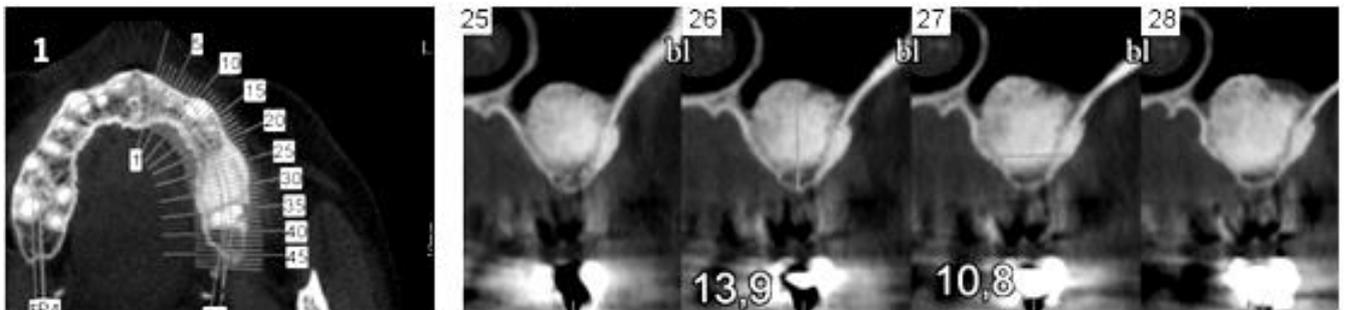


Figure 62 : Apport osseux : 1 : greffe osseuse de surélévation.

Visualisation radiologique de l'interface suprabasal après la greffe et permettant la réalisation des mesures en tant que référence. (89)

6.7 Statistiques

6.7.1 Description des méthodes statistique prévues

Logiciel de statistique utilisé : Statistica®

6.7.2 Méthode de prise en compte des données manquantes, inutilisées ou non valides

- Les patients perdus de vue sont exclus de l'analyse statistique (absence d'au moins 1 examen radiologique 3D type CBCT...)
- Lors d'arrêts prématurés du protocole les patients ne sont pas remplacés.
- Données manquantes : lorsque les données de l'examen radiologique ne permettent pas d'établir une analyse qualitative , celles-ci en sont exclues.

6.8 Aspect éthiques et réglementaires

Accord nécessaire CPP (commission protection des personnes)

6.9 Annexes

Annexe 1 : Courrier postale

CHU
NANCY
Service d'odontologie
Département de Parodontologie
et d'Implantologie Orale

Rue du Docteur Heydenreich
54000 Nancy

CENTRE HOSPITALIER UNIVERSITAIRE

SERVICE D'ODONTOLOGIE

Nancy, le 07/02/2016

Madame, Monsieur,

Vous avez bénéficié d'une réhabilitation implantaire associée à un soulèvement de sinus par abord latéral dans notre service de Parodontologie et Implantologie de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Nancy, il y a quelques années. Nous souhaiterions vous revoir pour effectuer une radiographie de contrôle afin d'assurer un indispensable suivi à long terme de votre intervention. Cette radiographie ne fait pas l'objet d'un dépassement d'honoraires et vous sera remboursée par la sécurité sociale et par votre mutuelle.

Vous allez être contacté par téléphone dans les semaines suivant la réception de ce courrier afin de programmer un rendez-vous soit avec moi soit avec Mr Adrien CALAFAT.

En vous remerciant par avance pour votre collaboration, je vous prie madame, monsieur, d'agréer l'expression de mes salutations distinguées.

Pascal Ambrosini
Professeur des Universités

Responsable du service de Parodontologie

Jacques Penaud
Dr en chirurgie dentaire,
Maître de Conférences des Universités


Mylène WADOUX
Dr en chirurgie dentaire,
Attachée hospitalo-universitaire,


Annexe 2 : Protocole standardisé de réalisation des examens radiologiques 3D Type CBCT pour l'étude.

**Protocole standardisé de réalisation des examens radiologiques 3D Type
CBCT pour l'étude.**

Nom et prénom du Patient :

Date de naissance :

Sexe : Masculin Féminin

Choisir l'examen CBCT : CBCT **T0** CBCT **T1** CBCT **T2** CBCT **T3**

Nom de l'opérateur :

Date de l'examen radiologique :

Paramètres de la machine radiologique Sironna Orthophos XG 3D® :

Choix du programme en fonction de la corpulence du Patient :

Corpulence1 Corpulence2 Corpulence3 Corpulence 4

Choix du champ d'acquisition : 8cm x 8cm 8cm x 5cm

Noter les valeurs suivantes dans le tableau :

| <u>Paramètres du générateur</u> | <u>Valeurs</u> |
|---------------------------------|----------------|
| Intensité (mA) | mA |
| Tension | kV |
| Temps d'exposition | s |
| Dose effective | µSV |

Utilisation du Mode HD : Oui Non

Utilisation de gouttière de positionnement : Oui Non

Annexe 3: Fiche de renseignement lors de la chirurgie de soulèvement de sinus par voie latérale

Fiche de renseignements lors de la chirurgie de soulèvement de sinus par voie latérale :

Nom et prénom du patient :

Date de naissance :

Sexe : Masculin Féminin

Nom de l'opérateur :

Date de la chirurgie :

Soulevé de sinus : Secteur 1 Secteur 2

Matériaux de comblement utilisé :

Membrane collagénique (régénération osseuse guidée ou ROG) utilisée :

Perforation de la membrane de Schneider lors de l'intervention : Oui Non

Annexe 4 : Fiche de renseignement lors de la chirurgie et pose implantaire

Fiche de renseignements lors de la chirurgie et pose implantaire:

Nom et prénom du patient :

Date de naissance :

Sexe : Masculin Féminin

Nom de l'opérateur :

Date de la pose des implants :

Site implantaire : Secteur 1 Secteur 2

Marque des implants endo-osseux utilisés :

Nombre d'implants endo-osseux :

7 Conclusion

Nous avons réalisé une étude sur l'évolution radiologique dans le temps, du matériau de comblement utilisé lors d'un soulèvement de sinus par voie latérale. Celle-ci s'est révélée délicate en raison de son caractère rétrospectif, à l'origine de nombreuses difficultés. Les mesures volumiques ont permis de quantifier la résorption du matériau de comblement sur un certain intervalle de temps. Elles se sont montrées fiables et encourageantes à l'inverse des mesures millimétriques qui ont dû être abandonnées en raison d'un recalage d'images incomplet et par conséquent inadapté.

Pour améliorer et mener à bien un tel travail, nous recommandons la pratique d'une étude prospective.

Le caractère prospectif de cette future étude permet la collecte des données du patient de manière rigoureuse, garantit leurs recueils et uniformise leur système d'archivage. Il évite la nécessité d'une reconversion et la perte de données d'un logiciel à un autre, souvent à l'origine d'une baisse de qualité d'image.

L'établissement d'un protocole d'étude rigoureux, standardisé et validé au préalable paraît indispensable à la réussite de l'étude. Il permet de définir le nombre souhaité d'opérateurs ou d'intervenants, de standardiser les appareils radiologiques de même que leurs protocoles pour garantir la reproductibilité des examens iconographiques.

Les paramètres de réalisation des différents CBCT doivent être identiques pour qu'un recalage d'images par reconnaissance d'intensités de gris soit possible.

Le choix adéquat de la taille du champ d'acquisition de même que la position de la tête du patient à l'intérieur de ce champ restent primordiaux pour augmenter les chances d'un recalage d'images complet.

L'utilisation d'un logiciel de recalage d'images précis à partir de volumes et l'orientation de ces derniers dans le plan de coupe choisi, sont indispensables pour l'obtention d'images homogènes et superposables.

Celui-ci permet la superposition exacte de deux images et la diminution de la marge d'erreur lors de leur recalage pour autoriser la prise de mesures millimétriques fiables du matériau de comblement en hauteur et largeur. Il diminue de ce fait les biais dans l'étude.

Les CBCT T1 doivent être effectués dans les jours qui suivent la chirurgie de soulèvements de sinus pour objectiver l'interface nette entre l'os basal du plancher sinusien et le matériau de comblement et en éviter la surestimation lors des mesures volumétriques.

Les résultats obtenus avec ce type d'étude pourront ainsi être comparés aux travaux d'autres équipes et devront toujours être analysés et interprétés avec précaution.

Références bibliographiques.

1. Muñoz-Guerra MF, Naval-Gías L, Capote-Moreno A. Le Fort I osteotomy, bilateral sinus lift, and inlay bone-grafting for reconstruction in the severely atrophic maxilla: a new vision of the sandwich technique, using bone scrapers and piezosurgery. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. 2009 Mar; 67(3):613–8.
2. Chiapasco M, Casentini P, Zaniboni M. Bone augmentation procedures in implant dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2009 ; 24 Suppl:237–59.
3. Boyne PJ, James RA. Grafting of the maxillary sinus floor with autogenous marrow and bone. *J Oral Surg Am Dent Assoc* 1965. 1980 Aug;38(8):613–6.
4. Zitzmann NU, Schärer P. Sinus elevation procedures in the resorbed posterior maxilla. Comparison of the crestal and lateral approaches. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1998 Jan ; 85(1):8–17.
5. Pal US, Sharma NK, Singh RK, Mahammad S, Mehrotra D, Singh N, et al. Direct vs. indirect sinus lift procedure: A comparison. *Natl J Maxillofac Surg*. 2012;3(1):31–7.
6. Woo I, Le BT. Maxillary sinus floor elevation: review of anatomy and two techniques. *Implant Dent*. 2004 Mar;13(1):28–32.
7. Al-Nawas B, Schiegnitz E. Augmentation procedures using bone substitute materials or autogenous bone - a systematic review and meta-analysis. *Eur J Oral Implantol*. 2014;7 Suppl 2:S219-234.
8. Klijn RJ, Meijer GJ, Bronkhorst EM, Jansen JA. A meta-analysis of histomorphometric results and graft healing time of various biomaterials compared to autologous bone used as sinus floor augmentation material in humans. *Tissue Eng Part B Rev*. 2010 Oct;16(5):493–507.
9. Klijn RJ, Meijer GJ, Bronkhorst EM, Jansen JA. Sinus floor augmentation surgery using autologous bone grafts from various donor sites: a meta-analysis of the total bone volume. *Tissue Eng Part B Rev*. 2010 Jun;16(3):295–303.
10. Smolka W, Eggensperger N, Carollo V, Ozdoba C, Iizuka T. Changes in the volume and density of calvarial split bone grafts after alveolar ridge augmentation. *Clin Oral Implants Res*. 2006 Apr;17(2):149–55.
11. Nystrom E, Kahnberg KE, Gunne J. Bone grafts and Brånemark implants in the treatment of the severely resorbed maxilla : a 2-year longitudinal study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1993;8(1):45–53.
12. Umanjec-Korac S, Wu G, Hassan B, Liu Y, Wismeijer D. A retrospective analysis of the resorption rate of deproteinized bovine bone as maxillary sinus graft material on cone beam computed tomography. *Clin Oral Implants Res*. 2014 Jul;25(7):781–5.
13. Handschel J, Simonowska M, Naujoks C, Depprich RA, Ommerborn MA, Meyer U, et al. A histomorphometric meta-analysis of sinus elevation with various grafting materials. *Head Face Med*. 2009 Jun 11;5:12.

14. Cordaro L, Bosshardt DD, Palattella P, Rao W, Serino G, Chiapasco M. Maxillary sinus grafting with Bio-Oss or Straumann Bone Ceramic: histomorphometric results from a randomized controlled multicenter clinical trial. *Clin Oral Implants Res.* 2008 Aug;19(8):796–803.
15. Klijn RJ, van den Beucken JJP, Bronkhorst EM, Berge SJ, Meijer GJ, Jansen JA. Predictive value of ridge dimensions on autologous bone graft resorption in staged maxillary sinus augmentation surgery using Cone-Beam CT. *Clin Oral Implants Res.* 2012 Apr;23(4):409–15.
16. Hatano N, Shimizu Y, Ooya K. A clinical long-term radiographic evaluation of graft height changes after maxillary sinus floor augmentation with a 2:1 autogenous bone/xenograft mixture and simultaneous placement of dental implants. *Clin Oral Implants Res.* 2004 Jun;15(3):339–45.
17. Horch H-H, Sader R, Pautke C, Neff A, Deppe H, Kolk A. Synthetic, pure-phase beta-tricalcium phosphate ceramic granules (Cerasorb) for bone regeneration in the reconstructive surgery of the jaws. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2006 Aug;35(8):708–13.
18. Kämmerer PW, Schiegnitz E, Alshihri A, Draenert FG, Wagner W. Modification of xenogenic bone substitute materials--effects on the early healing cascade in vitro. *Clin Oral Implants Res.* 2014 Jul;25(7):852–8.
19. Gultekin BA, Cansiz E, Borahan O, Mangano C, Kolerman R, Mijiritsky E, et al. Evaluation of Volumetric Changes of Augmented Maxillary Sinus With Different Bone Grafting Biomaterials. *J Craniofac Surg.* 2016 Mar;27(2):e144-148.
20. Gultekin BA, Borahan O, Sirali A, Karabuda ZC, Mijiritsky E. Three-Dimensional Assessment of Volumetric Changes in Sinuses Augmented with Two Different Bone Substitutes. *BioMed Res Int.* 2016;2016:4085079.
21. Farina R, Pramstraller M, Franceschetti G, Pramstraller C, Trombelli L. Alveolar ridge dimensions in maxillary posterior sextants: a retrospective comparative study of dentate and edentulous sites using computerized tomography data. *Clin Oral Implants Res.* 2011 Oct;22(10):1138–44.
22. Kirmeier R, Payer M, Wehrsuetz M, Jakse N, Platzer S, Lorenzoni M. Evaluation of three-dimensional changes after sinus floor augmentation with different grafting materials. *Clin Oral Implants Res.* 2008 Apr;19(4):366–72.
23. Sharan A, Madjar D. Maxillary sinus pneumatization following extractions: a radiographic study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2008 Feb;23(1):48–56.
24. Tepper G, Haas R, Zechner W, Krach W, Watzek G. Three-dimensional finite element analysis of implant stability in the atrophic posterior maxilla: a mathematical study of the sinus floor augmentation. *Clin Oral Implants Res.* 2002 Dec;13(6):657–65.
25. Chanavaz M. Maxillary sinus: anatomy, physiology, surgery, and bone grafting related to implantology--eleven years of surgical experience (1979-1990). *J Oral Implantol.* 1990;16(3):199–209.
26. Hürzeler MB, Kirsch A, Ackermann KL, Quiñones CR. Reconstruction of the severely resorbed maxilla with dental implants in the augmented maxillary sinus: a 5-year clinical investigation. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1996 Aug;11(4):466–75.

27. Esposito M, Hirsch JM, Lekholm U, Thomsen P. Biological factors contributing to failures of osseointegrated oral implants. (I). Success criteria and epidemiology. *Eur J Oral Sci.* 1998 Feb;106(1):527–51.
28. Hutton JE, Heath MR, Chai JY, Harnett J, Jemt T, Johns RB, et al. Factors related to success and failure rates at 3-year follow-up in a multicenter study of overdentures supported by Brånemark implants. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1995 Feb;10(1):33–42.
29. Martinez H, Davarpanah M, Missika P, Celletti R, Lazzara R. Optimal implant stabilization in low density bone. *Clin Oral Implants Res.* 2001 Oct;12(5):423–32.
30. Platzer S, Wildburger A, Lorenzoni M, Jakse N, Riedl R, Weiglein A, et al. Human cadaver study evaluating a new measurement technique for graft volumes after sinus floor elevation. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2014 Apr;16(2):212–22.
31. Garlini G, Redemagni M, Donini M, Maiorana C. Maxillary sinus elevation with an alloplastic material and implants: 11 years of clinical and radiologic follow-up. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* 2010 May;68(5):1152–7.
32. Sbordone C, Sbordone L, Toti P, Martuscelli R, Califano L, Guidetti F. Volume changes of grafted autogenous bone in sinus augmentation procedure. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* 2011 Jun;69(6):1633–41.
33. Rickert D, Slater JJRH, Meijer HJA, Vissink A, Raghoobar GM. Maxillary sinus lift with solely autogenous bone compared to a combination of autogenous bone and growth factors or (solely) bone substitutes. A systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2012 Feb;41(2):160–7.
34. Moradian-Oldak J, Wen HB, Schneider GB, Stanford CM. Tissue engineering strategies for the future generation of dental implants. *Periodontol 2000.* 2006;41:157–76.
35. Tadjoedin ES, de Lange GL, Lyaruu DM, Kuiper L, Burger EH. High concentrations of bioactive glass material (BioGran) vs. autogenous bone for sinus floor elevation. *Clin Oral Implants Res.* 2002 Aug;13(4):428–36.
36. Eskow AJ, Mealey BL. Evaluation of healing following tooth extraction with ridge preservation using cortical versus cancellous freeze-dried bone allograft. *J Periodontol.* 2014 Apr;85(4):514–24.
37. Ohe J-Y, Kim G-T, Lee J-W, Al Nawas B, Jung J, Kwon Y-D. Volume stability of hydroxyapatite and β -tricalcium phosphate biphasic bone graft material in maxillary sinus floor elevation: a radiographic study using 3D cone beam computed tomography. *Clin Oral Implants Res.* 2016 Mar;27(3):348–53.
38. Berberi A, Bouserhal L, Nader N, Assaf RB, Nassif NB, Bouserhal J, et al. Evaluation of Three-Dimensional Volumetric Changes After Sinus Floor Augmentation with Mineralized Cortical Bone Allograft. *J Maxillofac Oral Surg.* 2015 Sep;14(3):624–9.
39. Kühl S, Payer M, Kirmeier R, Wildburger A, Acham S, Jakse N. The influence of particulated autogenous bone on the early volume stability of maxillary sinus grafts with biphasic calcium phosphate: a randomized clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2015 Feb;17(1):173–8.

40. Mazzocco F, Lops D, Gobbato L, Lolato A, Romeo E, del Fabbro M. Three-dimensional volume change of grafted bone in the maxillary sinus. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2014 Feb;29(1):178–84.
41. Dellavia C, Speroni S, Pellegrini G, Gatto A, Maiorana C. A new method to evaluate volumetric changes in sinus augmentation procedure. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2014 Oct;16(5):684–90.
42. Kühl S, Payer M, Kirmeier R, Wildburger A, Wegscheider W, Jakse N. The influence of bone marrow aspirates and concentrates on the early volume stability of maxillary sinus grafts with deproteinized bovine bone mineral - first results of a RCT. *Clin Oral Implants Res*. 2014 Feb;25(2):221–5.
43. Sbordone C, Toti P, Guidetti F, Califano L, Pannone G, Sbordone L. Volumetric changes after sinus augmentation using blocks of autogenous iliac bone or freeze-dried allogeneic bone. A non-randomized study. *J Cranio-Maxillo-fac Surg Off Publ Eur Assoc Cranio-Maxillo-fac Surg*. 2014 Mar;42(2):113–8.
44. Kim E-S, Moon S-Y, Kim S-G, Park H-C, Oh J-S. Three-dimensional volumetric analysis after sinus grafts. *Implant Dent*. 2013 Apr;22(2):170–4.
45. Sbordone C, Toti P, Guidetti F, Califano L, Bufo P, Sbordone L. Volume changes of autogenous bone after sinus lifting and grafting procedures: a 6-year computerized tomographic follow-up. *J Cranio-Maxillo-fac Surg Off Publ Eur Assoc Cranio-Maxillo-fac Surg*. 2013 Apr;41(3):235–41.
46. Arasawa M, Oda Y, Kobayashi T, Uoshima K, Nishiyama H, Hoshina H, et al. Evaluation of bone volume changes after sinus floor augmentation with autogenous bone grafts. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2012 Jul;41(7):853–7.
47. Dasmah A, Thor A, Ekestubbe A, Sennerby L, Rasmusson L. Particulate vs. block bone grafts: three-dimensional changes in graft volume after reconstruction of the atrophic maxilla, a 2-year radiographic follow-up. *J Cranio-Maxillo-fac Surg Off Publ Eur Assoc Cranio-Maxillo-fac Surg*. 2012 Dec;40(8):654–9.
48. Kim Y-K, Yun P-Y, Kim S-G, Kim B-S, Ong JL. Evaluation of sinus bone resorption and marginal bone loss after sinus bone grafting and implant placement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2009 Feb;107(2):e21-28.
49. Fuerst G, Strbac GD, Vasak C, Tangl S, Leber J, Gahleitner A, et al. Are culture-expanded autogenous bone cells a clinically reliable option for sinus grafting? *Clin Oral Implants Res*. 2009 Feb;20(2):135–9.
50. Gapski R, Misch C, Stapleton D, Mullins S, Cobb C, Vansanathan A, et al. Histological, histomorphometric, and radiographic evaluation of a sinus augmentation with a new bone allograft: a clinical case report. *Implant Dent*. 2008 Dec;17(4):430–8.
51. Wanschitz F, Figl M, Wagner A, Rolf E. Measurement of volume changes after sinus floor augmentation with a phycogenic hydroxyapatite. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2006 Jun;21(3):433–8.
52. Johansson B, Grepe A, Wannfors K, Aberg P, Hirsch JM. Volumetry of simulated bone grafts in the edentulous maxilla by computed tomography: an experimental study. *Dento Maxillo Facial Radiol*. 2001 May;30(3):153–6.

53. Nyström E, Ahlqvist J, Kahnberg KE, Rosenquist JB. Autogenous onlay bone grafts fixed with screw implants for the treatment of severely resorbed maxillae. Radiographic evaluation of preoperative bone dimensions, postoperative bone loss, and changes in soft-tissue profile. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1996 Oct;25(5):351–9.
54. Hallman M, Hedin M, Sennerby L, Lundgren S. A prospective 1-year clinical and radiographic study of implants placed after maxillary sinus floor augmentation with bovine hydroxyapatite and autogenous bone. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* 2002 Mar;60(3):277-284; discussion 285-286.
55. Ozyuvaci H, Bilgiç B, Firatli E. Radiologic and histomorphometric evaluation of maxillary sinus grafting with alloplastic graft materials. *J Periodontol.* 2003 Jun;74(6):909–15.
56. Reinert S, König S, Bremerich A, Eufinger H, Krimmel M. Stability of bone grafting and placement of implants in the severely atrophic maxilla. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2003 Aug;41(4):249–55.
57. Riachi F, Naaman N, Tabarani C, Aboelsaad N, Aboushelib MN, Berberi A, et al. Influence of material properties on rate of resorption of two bone graft materials after sinus lift using radiographic assessment. *Int J Dent.* 2012;2012:737262.
58. Machtei EE, Rozitky D, Zigdon-Giladi H, Horwitz J. Dimensional Changes Following Lateral Wall Sinus Augmentation Without Concomitant Implant Placement Using a Composite Bone Graft. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2016 Feb;31(1):87–91.
59. Tyndall DA, Price JB, Tetradis S, Ganz SD, Hildebolt C, Scarfe WC, et al. Position statement of the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology on selection criteria for the use of radiology in dental implantology with emphasis on cone beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2012 Jun;113(6):817–26.
60. Gray CF, Redpath TW, Bainton R, Smith FW. Magnetic resonance imaging assessment of a sinus lift operation using reoxidised cellulose (Surgicel) as graft material. *Clin Oral Implants Res.* 2001 Oct;12(5):526–30.
61. Diserens V, Mericske E, Mericske-Stern R. Radiographic analysis of the transcrestal sinus floor elevation: short-term observations. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2005;7(2):70–8.
62. El-Beialy AR, Fayed MS, El-Bialy AM, Mostafa YA. Accuracy and reliability of cone-beam computed tomography measurements: Influence of head orientation. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2011 Aug;140(2):157–65.
63. Kim JH, Jeong H-G, Hwang JJ, Lee J-H, Han S-S. The impact of reorienting cone-beam computed tomographic images in varied head positions on the coordinates of anatomical landmarks. *Imaging Sci Dent.* 2016 Jun;46(2):133–9.
64. Uechi J, Okayama M, Shibata T, Muguruma T, Hayashi K, Endo K, et al. A novel method for the 3-dimensional simulation of orthognathic surgery by using a multimodal image-fusion technique. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2006 Dec;130(6):786–98.
65. McCance AM, Moss JP, Wright WR, Linney AD, James DR. A three-dimensional soft tissue analysis of 16 skeletal class III patients following bimaxillary surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 1992 Aug;30(4):221–32.

66. Kawamata A, Fujishita M, Nagahara K, Kanematu N, Niwa K, Langlais RP. Three-dimensional computed tomography evaluation of postsurgical condylar displacement after mandibular osteotomy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1998 Apr;85(4):371–6.
67. Cevidanes LHS, Alhadidi A, Paniagua B, Styner M, Ludlow J, Mol A, et al. Three-dimensional quantification of mandibular asymmetry through cone-beam computerized tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011 Jun;111(6):757–70.
68. Kim Y-I, Park S-B, Jung Y-H, Hwang D-S, Lee J-Y. Evaluation of intersegmental displacement according to osteosynthesis method for mandibular setback sagittal split ramus osteotomy using cone-beam computed tomographic superimposition. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* 2012 Dec;70(12):2893–8.
69. Park S-B, Yang Y-M, Kim Y-I, Cho B-H, Jung Y-H, Hwang D-S. Effect of bimaxillary surgery on adaptive condylar head remodeling: metric analysis and image interpretation using cone-beam computed tomography volume superimposition. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* 2012 Aug;70(8):1951–9.
70. Lemieux G, Carey JP, Flores-Mir C, Secanell M, Hart A, Lagravère MO. Precision and accuracy of suggested maxillary and mandibular landmarks with cone-beam computed tomography for regional superimpositions: An in vitro study. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2016 Jan;149(1):67–75.
71. Ashmore JL, Kurland BF, King GJ, Wheeler TT, Ghafari J, Ramsay DS. A 3-dimensional analysis of molar movement during headgear treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2002 Jan;121(1):18-29; discussion 29-30.
72. Choi D-S, Jeong Y-M, Jang I, Jost-Brinkmann PG, Cha B-K. Accuracy and reliability of palatal superimposition of three-dimensional digital models. *Angle Orthod.* 2010 Jul;80(4):497–503.
73. Chen H, Lowe AA, de Almeida FR, Wong M, Fleetham JA, Wang B. Three-dimensional computer-assisted study model analysis of long-term oral-appliance wear. Part 1: Methodology. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2008 Sep;134(3):393–407.
74. Thiruvenkatachari B, Al-Abdallah M, Akram NC, Sandler J, O'Brien K. Measuring 3-dimensional tooth movement with a 3-dimensional surface laser scanner. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2009 Apr;135(4):480–5.
75. Choi J-H, Mah J. A new method for superimposition of CBCT volumes. *J Clin Orthod JCO.* 2010 May;44(5):303–12.
76. Cevidanes LHC, Heymann G, Cornelis MA, DeClerck HJ, Tulloch JFC. Superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models of growing patients. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2009 Jul;136(1):94–9.
77. Motta AT, Cevidanes LHS, Carvalho FAR, Almeida MAO, Phillips C. Three-dimensional regional displacements after mandibular advancement surgery: one year of follow-up. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* 2011 May;69(5):1447–57.

78. Cevidanes LHS, Styner M, Proffit WR. [Three-dimensional superimposition of the skull base for the longitudinal evaluation of the effects of growth and of treatment]. *Orthod Francaise*. 2009 Dec;80(4):347–57.
79. Cevidanes LHS, Styner MA, Proffit WR. Image analysis and superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. 2006 May;129(5):611–8.
80. Koerich L, Burns D, Weissheimer A, Claus JDP. Three-dimensional maxillary and mandibular regional superimposition using cone beam computed tomography: a validation study. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2016 May;45(5):662–9.
81. Cevidanes LHC, Motta A, Proffit WR, Ackerman JL, Styner M. Cranial base superimposition for 3-dimensional evaluation of soft-tissue changes. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. 2010 Apr;137(4 Suppl):S120-129.
82. da Motta ATS, de Assis Ribeiro Carvalho F, Oliveira AEF, Cevidanes LHS, de Oliveira Almeida MA. Superimposition of 3D cone-beam CT models in orthognathic surgery. *Dent Press J Orthod*. 2010 Mar 1;15(2):39–41.
83. Weissheimer A, Menezes LM, Koerich L, Pham J, Cevidanes LHS. Fast three-dimensional superimposition of cone beam computed tomography for orthopaedics and orthognathic surgery evaluation. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2015 Sep;44(9):1188–96.
84. Nada RM, Maal TJJ, Breuning KH, Bergé SJ, Mostafa YA, Kuijpers-Jagtman AM. Accuracy and reproducibility of voxel based superimposition of cone beam computed tomography models on the anterior cranial base and the zygomatic arches. *PloS One*. 2011 Feb 9;6(2):e16520.
85. Almukhtar A, Khambay B, Ayoub A, Ju X, Al-Hiyali A, Macdonald J, et al. “Direct DICOM Slice Landmarking” A Novel Research Technique to Quantify Skeletal Changes in Orthognathic Surgery. *PloS One*. 2015;10(8):e0131540.
86. Grauer D, Proffit WR. Accuracy in tooth positioning with a fully customized lingual orthodontic appliance. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. 2011 Sep;140(3):433–43.
87. Lee J-H, Kim M-J, Kim S-M, Kwon O-H, Kim Y-K. The 3D CT superimposition method using image fusion based on the maximum mutual information algorithm for the assessment of oral and maxillofacial surgery treatment results. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2012 Aug;114(2):167–74.
88. Almukhtar A, Ju X, Khambay B, McDonald J, Ayoub A. Comparison of the accuracy of voxel based registration and surface based registration for 3D assessment of surgical change following orthognathic surgery. *PloS One*. 2014;9(4):e93402.
89. Cavézian R, Pasquet G. [Cone Beam computerized tomography and implants]. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*. 2012 Sep ; 113(4) : 245–58.

Table des matières

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Revue de la littérature et résultats | 1 |
| 1.1 | Généralités | 1 |
| 1.2 | Les soulevés de sinus | 1 |
| 1.3 | Les matériaux de comblement..... | 2 |
| 1.3.1 | L'os autogène | 3 |
| 1.3.2 | Les substituts osseux..... | 3 |
| 1.4 | Stabilité volumétrique et résorption des matériaux de comblement..... | 7 |
| 1.4.1 | La stabilité volumétrique | 7 |
| 1.4.2 | La résorption des matériaux de comblement. | 8 |
| 1.4.3 | Lien entre la résorption osseuse du greffon et la stabilité du volume | 10 |
| 1.5 | Évaluation radiologique de la résorption osseuse du comblement en imagerie 2D et 3D. | 14 |
| 2 | Matériel et méthode..... | 16 |
| 2.1 | Introduction :..... | 16 |
| 2.2 | Matériel et méthode | 16 |
| 2.2.1 | Déroulement de l'étude..... | 16 |
| 2.2.2 | Recueil de données | 17 |
| 2.2.3 | L'Analyse radiologique : | 19 |
| 2.2.4 | L'Analyse volumétrique..... | 20 |
| 2.2.5 | Mesures de résorption en hauteur et largeur du comblement | 22 |
| 3 | Résultats | 25 |
| 4 | Difficultés rencontrées et discussion | 26 |
| 4.1 | Recueil des données administratives et prise de contact avec le patient : | 26 |
| 4.2 | Recueil des examens radiologiques (CBCT T0 et CBCT T1)..... | 26 |
| 4.3 | Matériels radiologiques et informatiques | 27 |
| 4.3.1 | Les appareils radiologiques : | 27 |
| 4.3.2 | Les logiciels informatiques utilisés. | 27 |
| 4.4 | La réalisation des examens radiologiques | 29 |
| 4.4.1 | Reproductibilités des examens | 29 |
| 4.4.2 | Paramètres de réglage :..... | 29 |
| 4.4.3 | Les champs d'acquisition | 30 |
| 4.4.4 | Mode HD..... | 32 |
| 4.4.5 | Positionnement du patient dans l'appareil radiologique. | 34 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.5 | Le recalage d'images dans les différents logiciels..... | 40 |
| 4.5.1 | Définition | 40 |
| 4.5.2 | Les différents types de recalages | 41 |
| 4.5.3 | Les différentes méthodes de recalage | 43 |
| 4.5.4 | Logiciels utilisés : | 58 |
| 5 | Exemple de cas | 73 |
| 5.1 | Fiche du patient : | 73 |
| 5.2 | Mesures volumétriques du matériau de comblement..... | 73 |
| 5.3 | Mesures millimétriques en hauteur : | 73 |
| 6 | Protocole proposé | 75 |
| 6.1 | Sommaire | 75 |
| 6.2 | Justification scientifique et description générale de la recherche | 75 |
| 6.3 | Objectifs de la recherche : | 75 |
| 6.3.1 | Objectif principal..... | 75 |
| 6.3.2 | Objectifs secondaires..... | 75 |
| 6.4 | Conception de la recherche : | 76 |
| 6.4.1 | Critère d'évaluation principal..... | 76 |
| 6.4.2 | Critère d'évaluation secondaire | 76 |
| 6.4.3 | Déroulement de la recherche..... | 76 |
| 6.5 | Population étudiée | 79 |
| 6.5.1 | Description de la population à étudier | 79 |
| 6.5.2 | Modalité de recrutement..... | 79 |
| 6.5.3 | Critères d'inclusion..... | 80 |
| 6.5.4 | Critère d'exclusion..... | 80 |
| 6.6 | Matériel et méthode | 80 |
| 6.6.1 | Déroulement de l'étude : | 80 |
| 6.6.2 | Réalisation de l'Examen radiologique 3D CBCT T0 : | 81 |
| 6.6.3 | Chirurgie de comblement : | 82 |
| 6.6.4 | Réalisation de l'Examen radiologique CBCT T1: | 82 |
| 6.6.5 | Réalisation de l'Examen radiographique CBCT T2 : | 83 |
| 6.6.6 | Chirurgie et pose implantaire : | 84 |
| 6.6.7 | Réalisation de l'examen radiologique CBCT T3 : | 84 |
| 6.6.8 | Recalage d'image entre le CBCT T1 et les CBCT T2 ou T3..... | 85 |
| 6.6.9 | Mesures millimétriques et volumétriques : | 85 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6.7 | Statistiques..... | 88 |
| 6.7.1 | Description des méthodes statistique prévues..... | 88 |
| 6.7.2 | Méthode de prise en compte des données manquantes, inutilisées ou non valides | 88 |
| 6.8 | Aspect éthiques et réglementaires..... | 88 |
| 6.9 | Annexes..... | 89 |
| 7 | Conclusion..... | 93 |

CALAFAT Adrien – Les soulevés de sinus par voie latérale : Suivi radiographique

Nancy 2018 : 106 pages ; 57 figures ; 9 tableaux

Th. : Chir.-Dent. : Nancy 2018

Mots clés :

- Implantologie
- Cone beam computed tomography (CBCT)
- Soulevé de sinus par voie latérale
- Matériaux de comblement intra-sinusiens
- Recalage d'image

Résumé :

L'auteur réalise une étude sur l'évolution radiologique dans le temps, du matériau de comblement utilisé lors d'un soulevé de sinus par voie latérale.

La méthode par mesures volumiques a permis de quantifier la résorption du matériau de comblement sur un certain intervalle de temps. Elle s'est montrée fiable et encourageante à l'inverse des mesures millimétriques utilisées habituellement.

Pour améliorer et mener à bien un tel travail, l'auteur préconise de réaliser une étude prospective qui permet la collecte des données du patient de manière rigoureuse et d'uniformiser leur système d'archivage.

Pour l'auteur, l'établissement d'un protocole d'étude rigoureux, standardisé et validé au préalable est apparu indispensable. Il permet de définir le nombre souhaité d'opérateurs ou d'intervenants, de standardiser les appareils radiologiques de même que leurs protocoles afin de garantir une reproductibilité des examens iconographiques.

L'utilisation d'un logiciel de recalage d'images précis à partir de volumes et l'orientation de ces derniers dans le plan de coupe choisi, est apparue indispensable pour l'obtention d'images homogènes et superposables. Les paramètres de réalisation des différents CBCT doivent être identiques pour qu'un recalage d'images par reconnaissance d'intensités de gris soit possible.

L'auteur conclut à la nécessité de pratiquer un CBCT dans les jours qui suivent la chirurgie de soulevés de sinus afin d'objectiver l'interface entre l'os basal du plancher sinusien et le matériau de comblement.

Les résultats obtenus avec ce type d'étude pourront ainsi être comparés aux travaux d'autres équipes et devront toujours être analysés et interprétés avec précaution.

Membres du jury :

| | | |
|-----------------------|--|------------------|
| Pr. P. AMBROSINI | Professeur des Universités | Président |
| <u>Dr. JP. PENAUD</u> | <u>Maître de Conférences des Universités</u> | <u>Directeur</u> |
| Dr. D. JOSEPH | Maître de Conférences des Universités | Juge |
| Dr. S. CLERC | Assistant Hospitalo- Universitaire | Juge |
| Dr. M. WADOUX | Docteur en Chirurgie Dentaire | Juge |

Adresse de l'auteur :

CALAFAT Adrien
51, rue Eugène-Hugo
54000 Nancy



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE



FACULTÉ
D'ODONTOLOGIE
DE LORRAINE

Jury : Président : P. AMBROSINI – Professeur des Universités
 Juges : J. PENAUD – Maître de Conférences des Universités
 D. JOSEPH – Maître de Conférences des Universités
 S. CLERC – Assistant Hospitalo-Universitaire
 M. WADOUX – Docteur en Chirurgie Dentaire

Thèse pour obtenir le diplôme d'État de Docteur en Chirurgie Dentaire

Présentée par: **Monsieur CALAFAT Adrien**

né(e) à : **LUXEMBOURG**

le **21 avril 1988**

et ayant pour titre : « **Les soulevés de sinus par voie latérale : suivi radiographique** ».

Le Président du jury

P. AMBROSINI

Le Doyen,
de la Faculté d'Odontologie

J.M. MARTRETTE

Autorisé à soutenir et imprimer la thèse **10162**

NANCY, le **23 JAN. 2010**

Le Président de l'Université de Lorraine

P. MUTZENHARDT