

**UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER**  
**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

---

Année 2019

2019-TOU3-3006

# **THESE**

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

Par

**AKA Baffêly**

Le 05 Février 2019

## **INTEGRATION DE L'IMPRESSION 3D DANS LA PEDAGOGIE EN ODONTOLOGIE : EXEMPLE DE L'IMAGERIE AVANCEE**

Directeur de thèse : Docteur Damien OSTROWSKI

Co-directeur de thèse : Docteur Paul MONSARRAT

### **JURY**

Président :

Assesseur :

Assesseur :

Assesseur :

Professeur Frédéric VAYSSE

Docteur Sabine JONJOT

Docteur Paul MONSARRAT

Docteur Damien OSTROWSKI



Année 2019

2019-TOU3-3006

# THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

Par

**AKA Baffêly**

Le 05 Février 2019

## INTEGRATION DE L'IMPRESSION 3D DANS LA PEDAGOGIE EN ODONTOLOGIE : EXEMPLE DE L'IMAGERIE AVANCEE

Directeur de thèse : Docteur Damien OSTROWSKI

Co-directeur de thèse : Docteur Paul MONSARRAT

### JURY

Président :

Assesseur :

Assesseur :

Assesseur :

Professeur Frédéric VAYSSE

Docteur Sabine JONOT

Docteur Paul MONSARRAT

Docteur Damien OSTROWSKI



## REMERCIEMENTS

- ✓ A mes parents, qui ont toujours pris les meilleures décisions pour l'avenir de notre famille, qui ont été visionnaires à des moments clés de notre vie. Modèles de combativité, de persévérance, d'intelligence, d'amour et d'intégrité, si je suis en capacité de présenter ce travail en ce jour, c'est grâce à vous ! Vous êtes mon modèle de vie et Le combat ne fait que commencer ! Je vous aime !
- ✓ A toi, Stefen, mon « petit », que par le chemin parcouru jusqu'à ce jour, je puisse être ne serait-ce qu'un semblant de boussole pour ta vie future. La vie est devant toi et je serais toujours là pour toi. On est ensemble, Je t'aime !
- ✓ A Hervé, mon deuxième papa, mon père « fouettard » qui ne m'a pas lâché d'une semelle pour que je continue d'avancer dans la direction que les parents nous avaient fixé, qui me faisait réciter mes leçons mais qui est aujourd'hui mon plus grand confident. Je te dis merci car c'est aujourd'hui je prends pleinement conscience de tout ce que tu me disais. Malgré la distance tu es présent et pour ça je t'en remercie. Tu es un modèle de réussite et je continue d'essayer de prendre exemple sur toi. Je t'aime !
- ✓ A Elioh, Mon jumeau, Mon modèle. On n'a pas grandi ensemble et pourtant... Que pourrais-je te dire que tu ne sais déjà ?! Je suis admiratif de ton parcours depuis notre rencontre et je ne cesse de m'appuyer sur ton fonctionnement, ta vision, ta manière de vivre et de penser en ajoutant mon « petit piment » dans ce mix. J'espère te rendre fier à travers ce travail. Je t'aime !
- ✓ A Léonce, mon frère d'arme depuis le berceau. Pendant que j'étais devant mes cahiers pour en arriver à ce jour, je te voyais te battre pour tes objectifs et pour ton entreprise. Te voir, discuter avec toi m'a toujours redonné un élan de motivation et de courage car voir d'où tu es parti, ce que tu as traversé et où tu en es aujourd'hui mérite le respect et l'admiration. Je t'aime !
- ✓ A mes crèmes, vous qui avez changé ma vie. Que pourrais-je vous dire que vous ne sachiez déjà ?! J'ai trouvé en vous mes amis pour la vie. Les amis avec lesquels je veux arriver au sommet et partager tout le bon mais aussi le moins bon. Je vous aime bande de phaco !
- ✓ A Imane, Adeline, Xavier, Véronique, Karim, Floriane, Clarence, Kris et Ayoub. De près ou de loin, vous avez contribué à mon évolution et rendu mes années universitaires encore plus belles. J'espère pouvoir continuer de partager des moments de qualité avec vous dans nos futures vies !

➔ DIRECTION

DOYEN

Mr Philippe POMAR

ASSESEUR DU DOYEN

Mme Sabine JONIOT

CHARGÉS DE MISSION

Mr Karim NASR

Mr Olivier HAMEL

Mr Franck DIEMER

PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

Mme Cathy NABET

RESPONSABLE ADMINISTRATIF

Mme Muriel VERDAGUER

➔ HONORARIAT

DOYENS HONORAIRES

Mr Jean LAGARRIGUE

Mr Jean-Philippe LODTER

Mr Gérard PALOUDIER

Mr Michel SIXOU

Mr Henri SOULET

➔ ÉMÉRITAT

Mr Damien DURAN

Mme Geneviève GRÉGOIRE

Mr Gérard PALOUDIER

➔ PERSONNEL ENSEIGNANT

**Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention**

56.01 ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE et ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE (Mme BAILLEUL- FORESTIER)

ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE

Professeurs d'Université : Mme BAILLEUL-FORESTIER, Mr. VAYSSE

Maîtres de Conférences : Mme NOIRRI-ESCLASSAN, Mme VALERA, Mr. MARTY

Assistants : Mme BROUTIN, Mme GUY-VERGER

Adjoint d'Enseignement : Mr. DOMINE, Mme BROUTIN,

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences : Mr BARON, Mme LODTER, Mme MARCHAL, Mr. ROTENBERG,

Assistants Mme ARAGON, Mme DIVOL,

56.02 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE (Mr. HAMEL)

Professeurs d'Université : Mr. SIXOU, Mme NABET, Mr. HAMEL

Maître de Conférences : Mr. VERGNES,

Assistant: Mr. ROSENZWEIG,  
Adjoints d'Enseignement : Mr. DURAND, Mlle. BARON, Mr LAGARD, Mme FOURNIER

## **Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale**

### **57.01 CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE** (Mr. COURTOIS)

#### **PARODONTOLOGIE**

Maîtres de Conférences : Mr. BARTHET, Mme DALICIEUX-LAURENCIN, Mme VINEL  
Assistants: Mr. RIMBERT, Mme. THOMAS  
Adjoints d'Enseignement : Mr. CALVO, Mr. LAFFORGUE, Mr. SANCIER, Mr. BARRE, Mme KADDECH

#### **CHIRURGIE ORALE**

Maîtres de Conférences : Mr. CAMPAN, Mr. COURTOIS, Mme COUSTY,  
Assistants : Mme COSTA-MENDES, Mr. BENAT,  
Adjoints d'Enseignement : Mr. FAUXPOINT, Mr. L'HOMME, Mme LABADIE, Mr. RAYNALDI,

#### **BIOLOGIE ORALE**

Professeur d'Université : Mr. KEMOUN  
Maîtres de Conférences : Mr. POULET, Mr BLASCO-BAQUE  
Assistants: Mr. LEMAITRE, Mr. TRIGALOU, Mme. TIMOFEEVA, Mr. MINTY  
Adjoints d'Enseignement : Mr. PUISSOCHET, Mr. FRANC, Mr BARRAGUE

## **Section CNU 58 : Réhabilitation Orale**

### **58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX** (Mr ARMAND)

#### **DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE**

Professeur d'Université : Mr. DIEMER  
Maîtres de Conférences : Mr. GUIGNES, Mme GURGEL-GEORGELIN, Mme MARET-COMTESSE  
Assistants : Mme. RAPP, Mr. MOURLAN, Mme PECQUEUR, Mr. DUCASSE, Mr FISSE Mr. GAILLAC  
Adjoints d'Enseignement : Mr. BALGUERIE, Mr. MALLET

#### **PROTHÈSES**

Professeurs d'Université : Mr. ARMAND, Mr. POMAR  
Maîtres de Conférences : Mr. CHAMPION, Mr. ESCLASSAN, Mme VIGARIOS, Mr. DESTRUHAUT  
Assistants: Mr. EMONET-DENAND, Mr. LEMAGNER, Mr. HENNEQUIN, Mr. CHAMPION, Mme. DE BATAILLE  
Adjoints d'Enseignement : Mr. FLORENTIN, Mr. GALIBOURG, Mr. GHRENASSIA, Mme. LACOSTE-FERRE,  
Mr. GINESTE, Mr. LE GAC, Mr. GAYRARD, Mr. COMBADAZOU, Mr. ARCAUTE, M. SOLYOM

#### **FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX**

Maîtres de Conférences : Mme JONJOT, Mr. NASR, Mr. MONSARRAT  
Assistants: Mr. CANCEILL, Mr. OSTROWSKI, Mr. DELRIEU,  
Adjoints d'Enseignement : Mr. AHMED, Mme MAGNE, Mr. VERGÉ, Mme BOUSQUET

Au président du jury,

**Monsieur le Professeur VAYSSE Frédéric**

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Chef du Service d'Odontologie,
- Chef adjoint du pôle CVR
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier

Vous nous faites l'honneur de présider notre jury de thèse. Etant l'un des précurseurs de l'intégration de l'impression 3D dans notre pédagogie, nous espérons que cette thèse sera à la hauteur de vos attentes.

Veillez trouver ici l'expression de notre profond respect à votre égard.

Au jury de thèse

**Madame le Docteur JONIOT Sabine**

- Maître de Conférences des Universités, Praticien hospitalier d'Odontologie,
- Vice Doyen de la Faculté de chirurgie dentaire de Toulouse,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur d'Etat en Odontologie,
- Habilitation à diriger des recherches (HDR),
- Lauréate de l'Université Paul Sabatier.

Nous vous remercions d'avoir accepté de juger ce travail et de siéger parmi les membres du jury. Nous nous souviendrons de votre enseignement et de votre patience à notre égard.

Veillez trouver ici l'expression de notre profond respect à votre égard.

A notre co-directeur de thèse,

**Monsieur le Docteur MONSARRAT Paul**

- Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier en Odontologie,
- Master 1 Recherche : Biosanté et Méthodes d'Analyse et de Gestion en Santé Publique,
- Master 2 Recherche : mention : Biologie, santé; spécialité : Physiopathologie,
- Lauréat de la faculté de Médecine Rangueil et de Chirurgie Dentaire de l'Université Paul Sabatier,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier - Spécialité Physiopathologie,
- Diplôme Universitaire d'Imagerie 3D maxillo-faciale,
- CES Biomatériaux en Odontologie,
- Diplôme universitaire de Recherche Clinique en Odontologie

Nous vous remercions d'avoir accepté de co-diriger cette thèse. Nous vous sommes reconnaissant pour la patience, la gentillesse, les compétences et l'implication dont vous avez fait preuve à mon égard et dans la direction de ce travail.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de notre gratitude et de notre profond respect à votre égard.



A notre directeur de thèse,

**Monsieur le Docteur OSTROWSKI DAMIEN**

- Assistant Hospitalo-Universitaire d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- CES de Chirurgie Dentaire : Biomatériaux en Odontologie
- CES de Chirurgie Dentaire : O C E

Vous nous avez fait l'honneur d'accepter la direction de cette thèse. Nous vous sommes très reconnaissant pour la disponibilité que vous nous avez consacré et l'aide que vous nous avez apporté.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de notre gratitude et de notre profond respect à votre égard.

# **TABLES DES MATIERES**

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>11</b>
<b>1) CREATION DES MODELES 3D .....</b>	<b>16</b>
<b>A) GUIDE AVISO .....</b>	<b>16</b>
<b>B) GUIDE NETFABB.....</b>	<b>23</b>
<b>2) APPLICATION SUR DES CAS CLINIQUES.....</b>	<b>28</b>
<b>A) CAS N°1 : MR C .....</b>	<b>28</b>
<b>B) CAS N°2 : MME N .....</b>	<b>31</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>37</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>39</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>49</b>

# Introduction

Ce travail s'inscrit à la suite du constat de certains manques en imagerie 3D, durant le cursus universitaire des étudiants (utilisation du CBCT et interprétation des acquisitions 3D), grâce à l'apport extérieur des étudiants qui ont donné leur avis afin de faire évoluer l'enseignement [5]. A l'issue de ce constat, il a été proposé un projet pédagogique pour répondre aux attentes des étudiants sur lequel nous nous sommes basés pour ce travail d'intégration de modèles 3D comme un support pédagogique complémentaire aux supports déjà présents. En effet, une revendication étudiante qui est revenue fréquemment était le manque de supports pédagogiques et une utilisation trop restreinte du logiciel car les étudiants n'ont eu l'occasion de travailler qu'avec des coupes et des images en 2D.

Notre objectif est de réaliser un objet en ayant pour point de départ un cliché radiologique en 3D [1]. L'objet sera obtenu en additionnant les couches 2D préalablement définies avant le début de l'impression.

Lors de sa création, le premier processus utilisé fut la stéréolithographie. La résine non polymérisée (« encre de l'imprimante ») est mise dans un bac et une plateforme mobile vient affleurer le liquide. Un laser UV va interagir avec la résine qui touche la plateforme et ainsi imprimer la première couche. L'ensemble plateforme, objet en cours d'impression va s'élever puis se repositionner au contact du liquide pour imprimer la seconde couche et ce jusqu'à la réalisation totale de l'objet.

Elle présente l'avantage de permettre une impression assez rapide, la réalisation de formes complexes avec une haute résolution et tout cela à un moindre coût car la résine n'est pas trop chère.

Par contre elle ne fonctionne qu'avec de la résine polymérisable, les supports d'impression doivent être retirés manuellement après l'impression, la résine peut provoquer des irritations par contact ou par inhalation et un objet formé par cette méthode ne doit pas être stérilisé par la chaleur [23, 30].

***C'est la technique d'impression qui sera utilisée, par la suite, pour la création de nos modèles. La résine liquide V-print nous sera fournie par la marque «VOCO», tout comme l'imprimante Voco® Solflex 350 3D® que nous allons utiliser pour réaliser nos modèles.***

Aujourd'hui, 3 autres techniques majeures sont mises en œuvre dans l'industrie et la recherche [2, 3, 4, 24, 25, 26, 30]:

- Selective laser sintering (SLS)

Cette technique est basée sur le frittage. On fait chauffer la poudre de matériau, au sein d'un socle, sans qu'elle n'atteigne sa température de fusion grâce à un laser CO<sub>2</sub> ; ainsi les grains de matériau vont se souder, par frittage. La machine est composée d'un piston de fabrication au milieu, sur lequel se trouve la chambre de construction, qui est à son niveau le plus haut au début de l'impression 3D, de deux pistons latéraux qui sont au niveau le plus bas au début de l'impression, d'un laser puissant et d'un rouleau qui étalera la poudre.

Le rouleau va étaler une première couche uniforme de poudre dans la chambre de fabrication en se déplaçant vers le piston latéral opposé. Le laser va réaliser le design 2D de la première couche de l'objet en faisant chauffer la poudre et permettant donc le frittage de

cette dernière. Le piston où est situé le rouleau va monter d'un cran pour l'approvisionner en poudre, le piston de fabrication va descendre d'un cran, le rouleau va étaler à nouveau de la poudre de manière uniforme en allant vers le piston opposé et le laser va à nouveau réaliser le design 2D de la deuxième couche de l'objet à créer. Le processus sera répété jusqu'à la création complète de l'objet désiré en 3D.

Cette technique est utilisée pour imprimer de gros volumes, elle peut produire des modèles fonctionnels en céramique et en métal, très bon état de surface du modèle et grande précision de représentation (réalisation des châssis PPAC). Mais cette méthode est très coûteuse et de prise en main très compliquée.

Du fait de ces caractéristiques, les prothésistes qui utilisent cette technique pour faire les châssis des PPAC envoient le fichier numérique à un centre d'impression.

- Fused deposition modeling (FDM)

Cette technique nous permet de réaliser une impression 3D à partir de filaments de matière. On fait chauffer l'imprimante jusqu'à 200°C pour faire fondre le matériau thermoplastique, se trouvant dans son réservoir, jusqu'à l'état semi liquide, puis on dépose une fine couche sur une base selon des coordonnées X et Y fixées. Ensuite, la tête d'impression peut se déplacer selon un axe Z pour réaliser la couche. A chaque réalisation de couche la plateforme descend d'un cran pour réaliser la couche suivante et on répète ces étapes jusqu'à ce que l'objet désiré soit terminé.

C'est la technique la plus abordable, la prise en main est aisée, elle présente un large choix de matériaux thermoplastiques.

En contrepartie, le temps d'impression est assez long et la résolution est plus faible.

- Polyjet

La tête d'impression possède plusieurs embouts qui déposent des gouttelettes de matériau pour former l'objet couche par couche. La tête d'impression est équipée d'une lumière UV qui va permettre le durcissement des gouttes de matériaux déposées sur la plateforme. A chaque réalisation de couche, le plateau central de fabrication va descendre d'un niveau pour qu'une nouvelle couche puisse être réalisée.

Cette technique offre une très bonne résolution, il est possible d'intégrer plusieurs matériaux et différentes couleurs, de modéliser de gros volume et le temps de réalisation peut-être très court.

Cependant le dispositif est cher, la prise en main est difficile et l'objet modélisé est fragile.

Aujourd'hui cette technique permet d'imprimer du tissu vivant (endothélium/bioimpression) [28]. De façon générale, l'impression 3D a su se faire une place dans le domaine médical. Elle est utilisée dans les salles d'intervention par l'intermédiaire de guides chirurgicaux, dans les laboratoires par la réalisation de prothèses et sur les bancs de la faculté grâce à la fabrication de modèles pédagogiques. Le chirurgien qui aura répété ses gestes grâce à un modèle pédagogique sera plus efficace, ce qui diminuera le temps opératoire ainsi que les complications opératoires et post-opératoires [6,7]. Elle participe aussi à l'éducation du patient lors des prises de décision. En effet, avant la prise de la décision on pourra montrer au patient, grâce au modèle, la situation dans laquelle il

se trouve afin qui comprenne mieux les enjeux et les risques encourus pour qu'il ait une position plus éclairée lorsque qu'il aura à faire un choix [2].

Cette révolution technologique doit être accompagnée par une révolution des pratiques pour être pleinement efficace.

En effet, voici une liste non exhaustive des difficultés à surmonter pour utiliser l'impression 3D au quotidien [3, 4, 6, 7, 8, 28] :

- Délai d'attente pour la création de modèle
- Pas d'utilisation en cas d'urgence qui découle du délai d'attente pour la création du modèle
- Le matériau utilisé peut rester bloqué dans les parties creuses du modèle et altérer sa qualité
- La modélisation des tissus mous et des tissus vivants (bio-impression) est à développer en odontologie
- Améliorer la texture des matériaux pour une meilleure simulation (concerne la technique de « Fused deposition modeling »)
- Précision inconstante des modèles. Peut être préjudiciable si on se sert du modèle pour préparer une opération chirurgicale.
- Un artefact sur la radio va influencer sur le résultat final
- Les logiciels 3D vont influencer le résultat final
- Difficile d'avoir un modèle précis représentant des tissus durs et des tissus mous simultanément
- Vérifier la correspondance des modèles avec la réalité
- Le cout d'une bonne imprimante
- Apport humain indispensable lors de la segmentation de l'image pour avoir un résultat imprimable
- L'absence de réglementation dans le cadre médico-légal [1]
- Permettre un éventuel remboursement de son utilisation par la sécurité sociale, pour un patient en mettant en valeur ses bienfaits pour ce dernier [9].

***Malgré le cout en temps et en énergie, l'impression 3D est un atout pédagogique important.***

Les premières recherches effectuées sur ce sujet sont apparues il y a quelques années (2013). Un groupe de 64 étudiants en 3<sup>ème</sup> année d'école vétérinaire a été recruté afin de comparer l'efficacité de modèles 3D par rapport à l'utilisation de livres et d'images 3D sur l'ordinateur, pour étudier l'anatomie d'un pied de cheval.

Les étudiants ont été séparés en 3 groupes, chaque groupe a passé un premier test une première fois sans différence significative entre les trois groupes.

Ensuite, chaque groupe a eu accès à un des supports d'informations évoqués précédemment avant de repasser à nouveau le test.

A l'issue de ce test, il y a eu un pourcentage de réussite significativement plus grand dans le groupe ayant eu accès aux modèles 3D.

De plus, les chercheurs ont eu beaucoup de retours positifs de la part des étudiants ayant eu accès aux modèles 3D et ont noté une amélioration, de la part ces étudiants, en terme d'enthousiasme et de confiance [10].

Le résultat de cette expérience est clairement en faveur de l'intervention des modèles 3D dans la pédagogie. Cette recherche a ouvert la voie à plusieurs autres recherches dans le domaine médical dans les pays anglo-saxons et asiatiques, notamment la Chine.

A l'issue de toutes les recherches menées dans ce domaine, voici les points en faveur de l'impression 3D qui ont été mis en avant [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]:

- Intérêt et enthousiasme accru des étudiants vis-à-vis de l'enseignement
- Volonté de voir la mise en place définitive des modèles 3D dans l'enseignement
- Les étudiants ont de meilleurs repères dans l'espace leur permettant une description et une reconnaissance des différentes structures plus aisées. Donc des résultats en nette amélioration.
- Beaucoup de retours positifs suite aux questionnaires par rapport aux retours négatifs
- Apprentissage plus rapide
- Les étudiants arrivent plus facilement à un consensus concernant une décision à prendre ou concernant le résultat d'un test [15]

On peut constater, via le nombre d'études réalisées grandissant, que ce support pédagogique prend peu à peu de l'ampleur dans la pédagogie à travers le monde surtout dans le cadre de la médecine, mais il est peu présent dans le cadre du cursus odontologique notamment en France et surtout avec ce type d'utilisation.

C'est pourquoi, nous souhaiterions intégrer ce support pédagogique dans la discipline d'imagerie avancée. En effet, nous pensons que l'impression 3D pourrait apporter une vraie plus-value à l'évolution des étudiants en termes de connaissance anatomique, de repérage dans l'espace et d'analyse des images 3D.

***Ce travail présente donc plusieurs défis à relever.***

Tout d'abord il faut trouver et pouvoir exploiter un examen médical en trois dimensions pouvant être imprimé afin de lier à la fois l'intérêt pédagogique du cas et les limites liées à l'impression car si on est face à une lésion radio mixte avec au centre de la lésion radio-claire des éléments radio opaques isolés on ne pourra pas l'imprimer. En effet, ces éléments ne tiendront pas dans « du vide ».

Puis, il faut transformer le volume radiologique en modèle 3D numérique sous forme de fichier au format stl, grâce à un logiciel d'édition de modèle numérique (nous utiliserons Avizo®). Enfin, il reste à créer les supports d'impression qui sont indispensables pour la technique que nous avons utilisé pour faire nos modèles (nous utiliserons netfabb). Le modèle ainsi modifié pourra ensuite être transféré à l'imprimante pour être imprimé après avoir été traité par un slicer (logiciel permettant de découper l'objet modélisé en couches d'épaisseurs égales).

Pour terminer il faut construire autour de ce cas toute une démarche pluridisciplinaire utilisant différentes ressources pédagogiques [5].

Notre objectif est de faire de ces modèles 3D un complément aux supports pédagogiques traditionnels, en faisant travailler et réfléchir les étudiants sur des cas complexes qui les pousseront à exploiter ces modèles et à faire appel à toutes les notions acquises dans les autres disciplines au fil de leur cursus, afin de les préparer au mieux pour leur exercice libéral.

Ces modèles seront utilisés en association avec le logiciel « **3D imaging software** » de chez Carestream Dental. Cela permettra aux étudiants, n'étant pas familiarisés à l'usage de la 3D, d'apprendre à utiliser ce logiciel qui est employé au CHU et améliorer les repères dans l'espace de chacun.

Dans une première partie, nous nous efforcerons de transcrire toutes les étapes nécessaires pour obtenir un model 3D à partir d'un CBCT grâce aux outils disponibles au CHU de Toulouse. Cela pourra servir de guide à ceux qui voudront entreprendre cette démarche.

Puis nous proposerons deux cas transversaux en essayant de mettre les étudiants en conditions réelles de soin.

# 1)Création des modèles 3D

L'obtention de notre modèle 3D va nécessiter une « intervention humaine » [7, 8]. En effet, lorsque l'on va obtenir notre cliché en 3D, ce dernier ne sera pas directement prêt à l'emploi. Il devra être traité en 2 étapes détaillées ci-dessous. Nous allons récupérer, dans une clé USB, les clichés 3D de Mr C, un patient qui a été reçu dans le service d'Odontologie du CHU de Toulouse, pour réaliser le guide de création. Il y a simplement besoin d'installer les logiciels AVIZO et NETFABB.

La première étape va consister à « nettoyer » le cliché du modèle afin qu'il y ait le moins d'artefacts possible et que le rendu final soit le plus propre possible. Le logiciel **AVIZO** nous permettra d'atteindre cet objectif.

La deuxième étape va consister à la réalisation des supports d'impression ainsi que l'inclinaison du modèle sur son support, lors de son impression. Le logiciel **NETFABB** nous permettra de mener à bien cette étape. C'est une étape majeure, lorsqu'on utilise la technique d'impression de stéréolithographie, car elle permet le bon déroulement de l'impression. Sans elle, le modèle ne sera pas soutenu lors de sa fabrication et l'impression n'arrivera jamais à son terme.

## a) Guide AVISO

Après avoir lancé le logiciel, il faut importer le volume 3D:

- Cliquez sur « **Open data** »
- Sélectionner toutes les coupes du cliché 3D DICOM (une norme standard pour la gestion informatique des données issues de l'imagerie médicale permettant le transfert d'images entre les machines de différents constructeurs) et ouvrir.

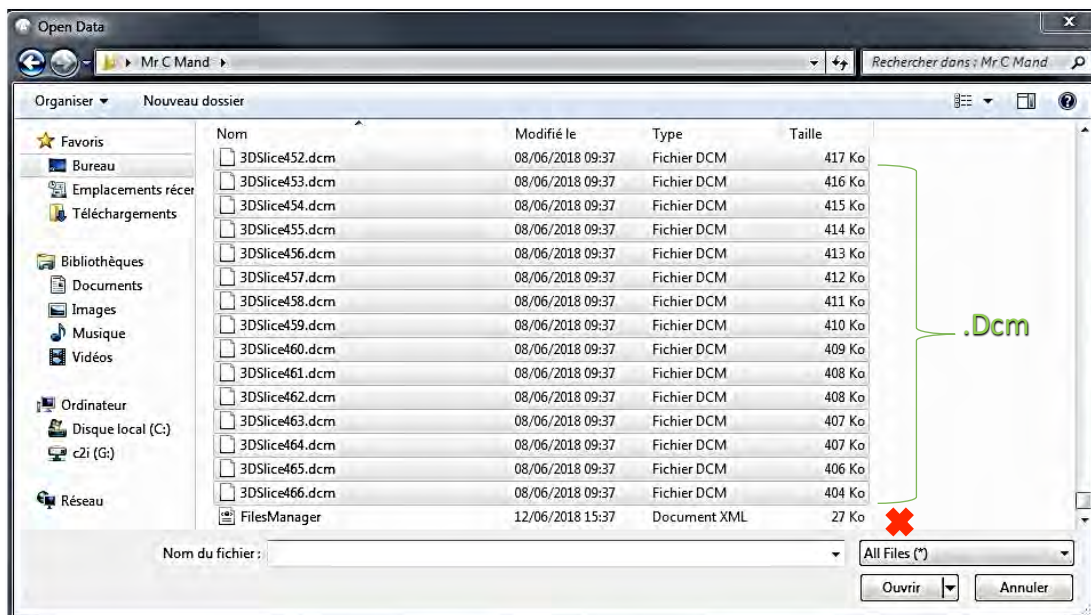


Figure 1: Sélection de tous les clichés 3D pour commencer le nettoyage du modèle



Le volume est présent dans Avizo (ici il s'appelle 001) mais il n'apparaît pas.

- Faites clic droit sur 001, puis entrer Isosurface dans la barre de recherche (Figure 2)
- L'isosurface est créé mais elle n'apparaît pas encore. Cliquez sur **Isosurface** dans la partie grise et les propriétés s'affichent. Pour que le modèle soit visible il faut modifier le seuillage (Threshold) (Figure 3).
- Modifier l'onglet « **Threshold** » et le mettre à 250 et appuyer sur Apply. A ce niveau-là, on sélectionne l'os. Vous pouvez le faire varier davantage afin de sélectionner ce qui vous intéresse.

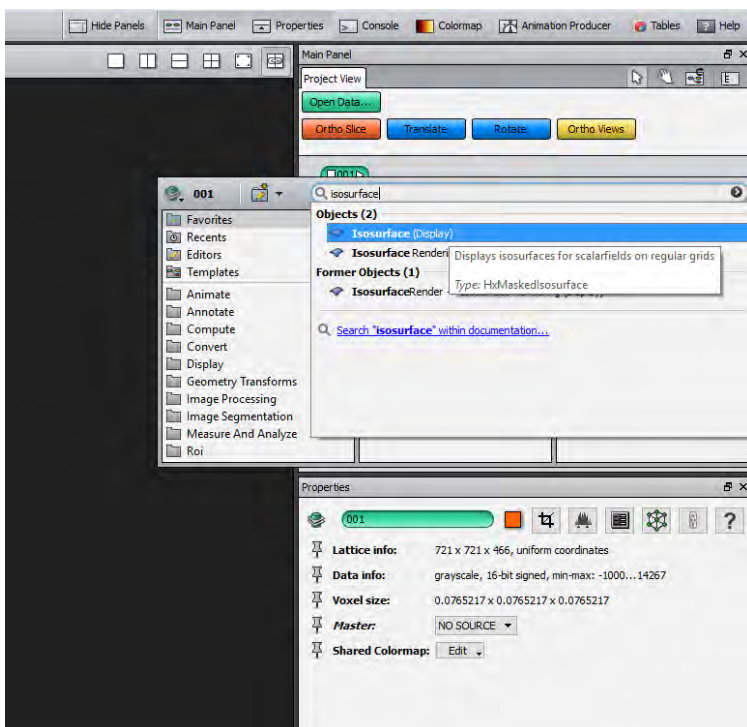


Figure 2: Créer l'Isosurface

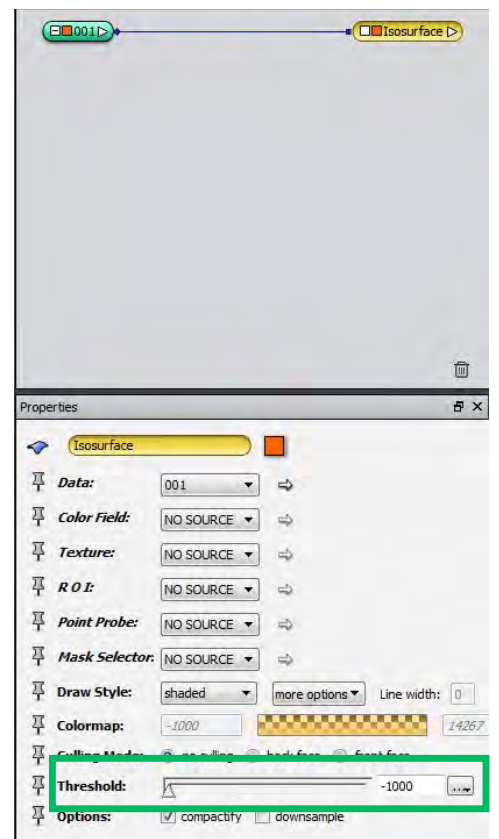


Figure 3: Le modèle n'apparaît pas. Le "threshold" est à -1000...

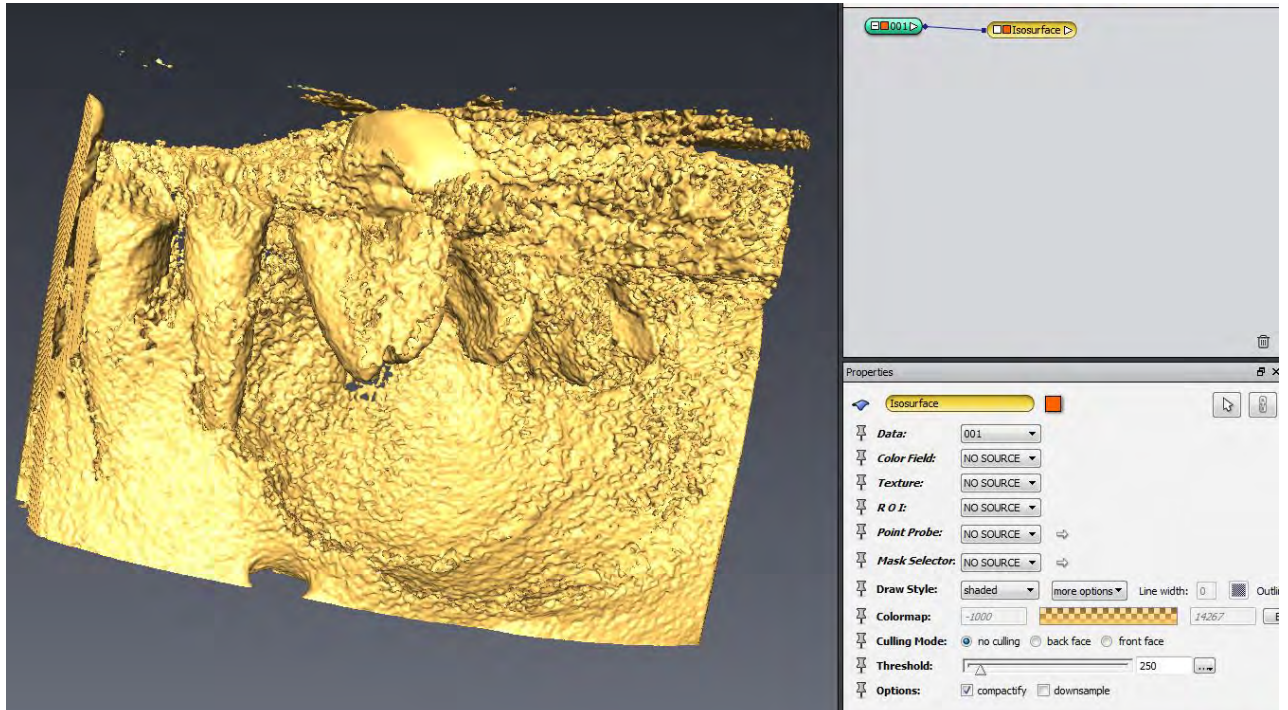


Figure 4: "Threshold" est modifié à 250, le modèle apparaît

Le modèle est rempli d'artefacts, il faut le nettoyer :

- Faire un clic droit sur le nom du volume (001) pour ouvrir la barre de recherche.
- Taper « **Volume Edit** » puis sélectionnez-le. Un nouvel outil « **Volume Edit** » sera alors présent dans project view (icône rouge). Il nous permettra de nettoyer le modèle grâce à la fonction « **Cut** » (Figure 5).
- Faite « **Cut** », puis Inside, puis sélection de l'élément à enlever et enfin Apply. Un nouveau volume (001.modif) va apparaître dans une icône verte (Figure 5). Si vous souhaitez enlever ce qu'il y a en dehors de la sélection cliquez sur « **Outside** » avant de sélectionner l'élément à garder ;
- Pour visualiser ce que vous venez de faire il faut créer l'Isosurface du volume (.modif) comme vu précédemment.
- Refaite cette action autant de fois que nécessaire pour enlever le maximum d'artefacts créés lors de la réalisation du cliché 3D. Après chaque utilisation de la fonction « **cut** » il vous suffira d'actualiser l'Isosurface avec « **Apply** ».
- Vous obtenez un modèle propre mais pas assez lisse pour être imprimé (Figure 6)

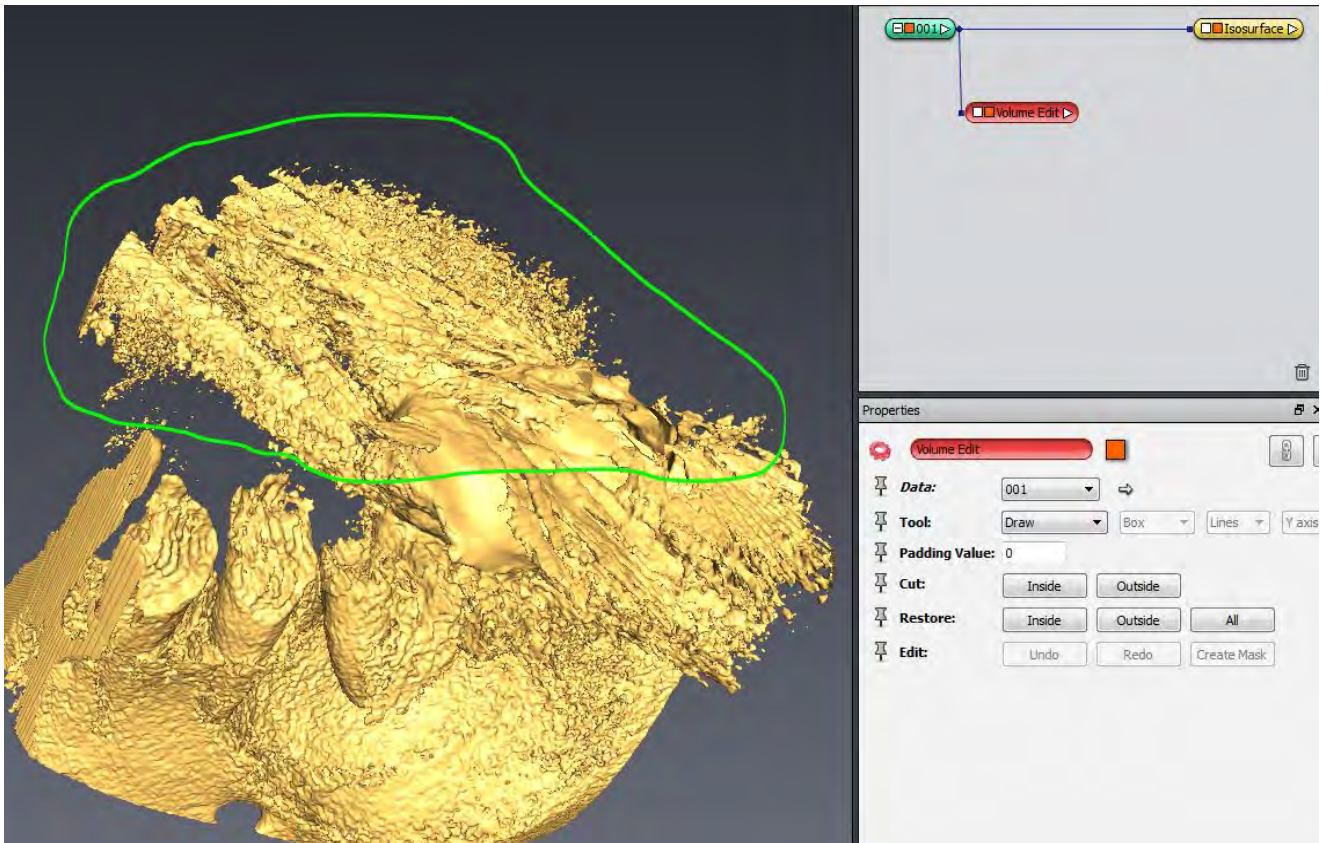


Figure 5: Illustration de la fonction "Cut" sur des artefacts à nettoyer

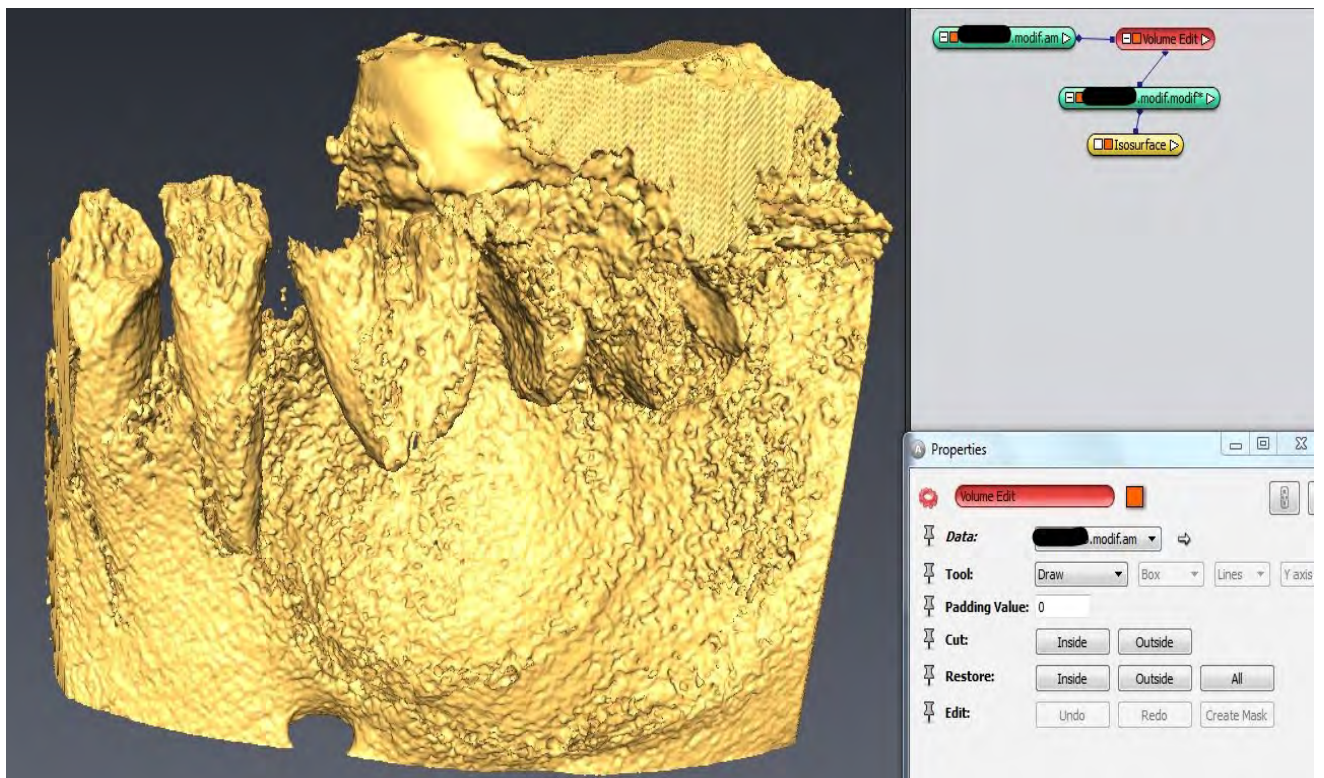


Figure 6: Le modèle nettoyé

A présent, il faut nettoyer le modèle de manière plus précise :

- Faire un clic droit sur le fichier « **.modif** » obtenu après avoir fait « **Cut** »
- Rechercher dans la barre de recherche « **Edit new label field** » puis « **Create** ». Un nouvel onglet apparaît à côté de projet view ainsi que 3 fenêtres représentant les coupes radiologiques orthogonales du volume radiologique.
- Avec l'outil « **Threshold Tool** » (Figure 7 rond rouge). Maintenant modifier la sélection en bougeant les curseurs de l'histogramme « **Threshold** » afin de sélectionner la plage de niveau de gris qui vous intéresse (Figure 7).
- Cliquez enfin sur le « **+** » afin que votre sélection soit validée (elle devient violette (couleur du matériel Inside), Figure 8)
- Si vous voulez maintenant sélectionner ou désélectionner une partie spécifique il faut utiliser la fonction « **brush** » et cliquer sur cet élément sur une coupe. Pour l'ajouter à la sélection (violet) faite « **+** » et l'enlever faite (« **-** »). Attention si vous utilisez cette fonction il faut le faire sur toutes les coupes concernées.
- Une fois cette partie terminée on obtiendra un fichier « **modif.labels** ».

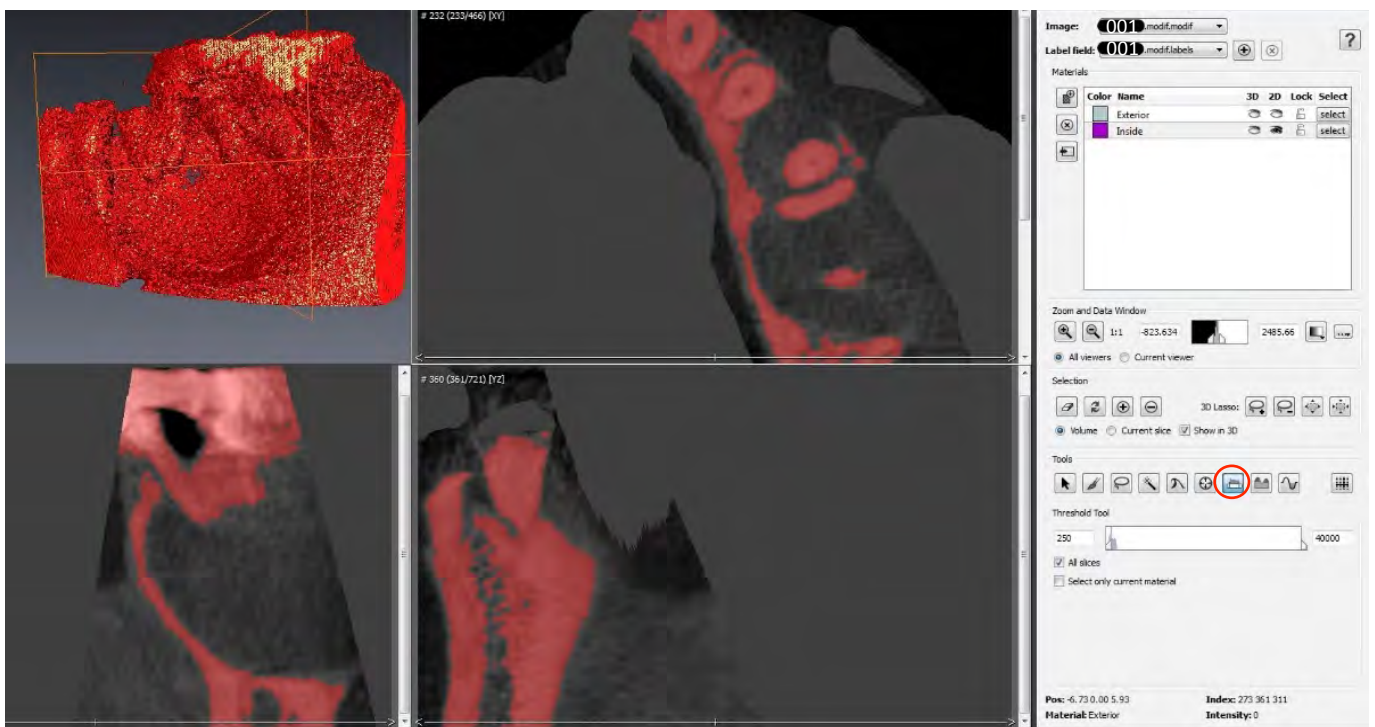


Figure 7: Fenêtre "New label field" où l'on va pouvoir réaliser un nettoyage précis cliqué par cliqué. Toutes les coupes ont été sélectionnées grâce à l'outil Threshold Tool, ici entouré en rouge.

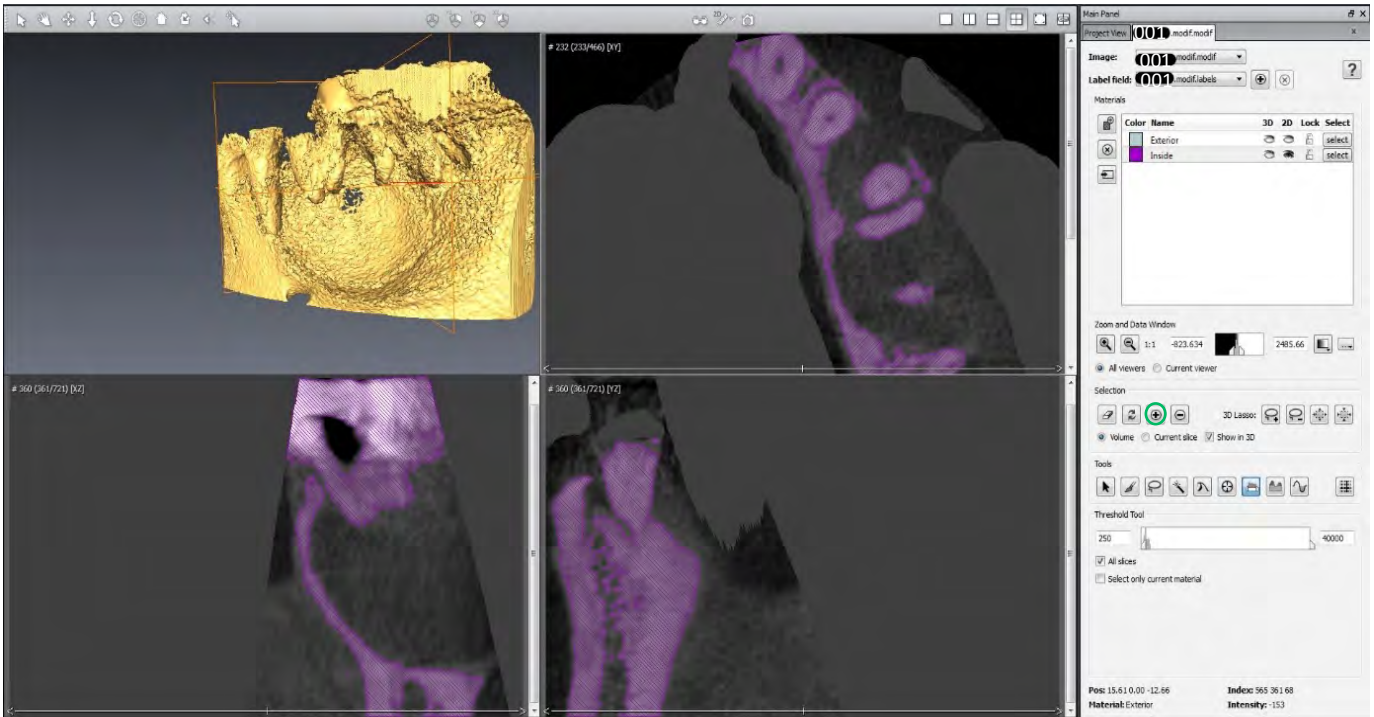


Figure 8: La sélection des clichés a été validée (violet). A présent, on peut modifier manuellement les clichés

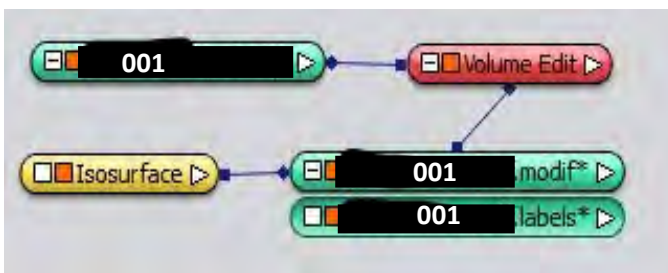


Figure 9: Le "project view" à l'issue du nettoyage du cliché

A présent il faut améliorer l'état de surface du modèle :

- Faites un clic droit sur « **.modifs.labels** »
- Rechercher « **generate surface** » qui va nous permettre de modifier l'état de surface du modèle. Puis faite create. Dans les propriétés de « **generate surface** » modifiez le « **smoothing extent** » jusqu'à 1 puis faite apply. A l'issue de cette étape on aura créé un fichier « **modif.surf** ».
- Maintenant afin de visualiser ce volume, faire « clic droit » et rechercher « **surface view** ». Cliquer sur le fichier « **modif.surf** »
- Revenez sur l'icône « .surf » dans le project view puis cliquez sur l'icône « **simplificator editor** ».



- Dans Simplify : choisissez le nombre de face désiré (ici 800000) puis cliquer sur « **simplify now** ». Cela aura pour conséquence la diminution de la taille du fichier tout en obtenant un état de surface correct.

Le modèle est prêt pour l'impression il faut maintenant le sauvegarder.

Pour préparer l'impression il faut que l'objet soit un fichier **.stl**. Pour cela sélectionner votre surface « **.surf** » puis allez dans fichier « **save as** » et choisissez le format STL (ascii).

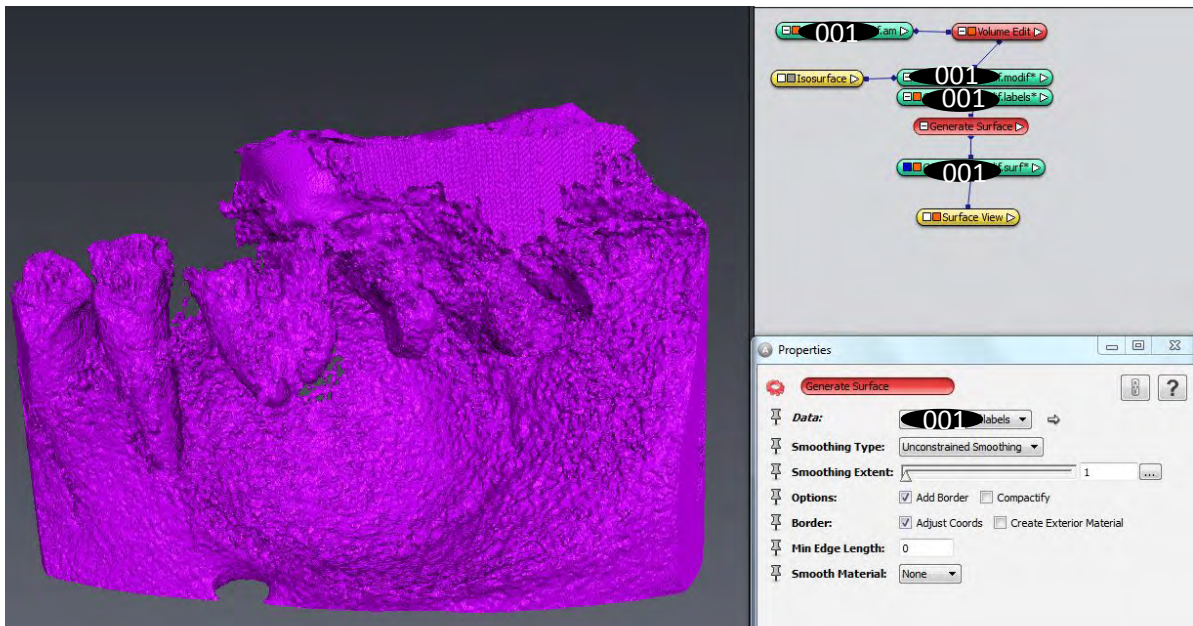


Figure 10: Surface view du "fichier.surf" après modification du « Smoothing Extent » à 1

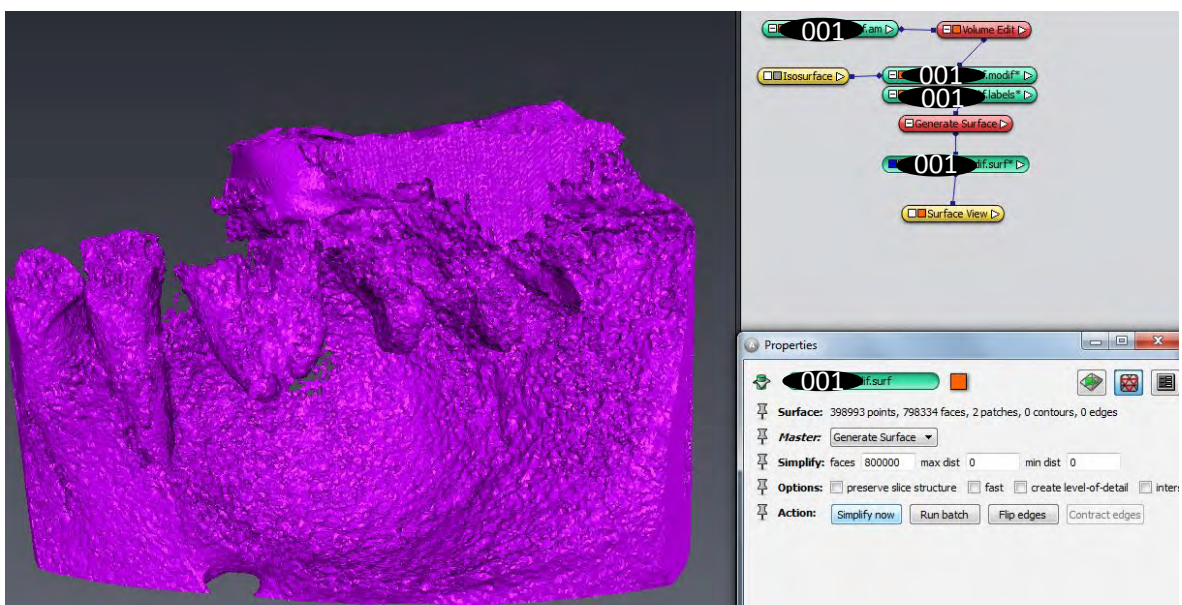


Figure 11: Modèle après simplification de l'état de surface

## b) Guide NETFABB

Ce logiciel gère plusieurs imprimantes 3D différentes, il faut commencer par choisir celle utilisée à la faculté.

Pour cela cliquez sur « **Load machine work space** » (rond vert) puis dans « **manufacturer** » choisissez « **Way2Production** » pour faire apparaître le plateau d'impression (Figure 12).



Figure 12: Sélection du support d'impression selon l'imprimante utilisée

Pour cela cliquer sur « **Setting** », plusieurs réglages sont possibles : notamment la précision de l'impression (50µm) qui préfigurera l'épaisseur des couches durant l'impression et le type de résine d'impression qui sera important notamment en raison des propriétés différentes de chaque résine (**Choisissez la résine V-Print model beige**) (Figure 13).

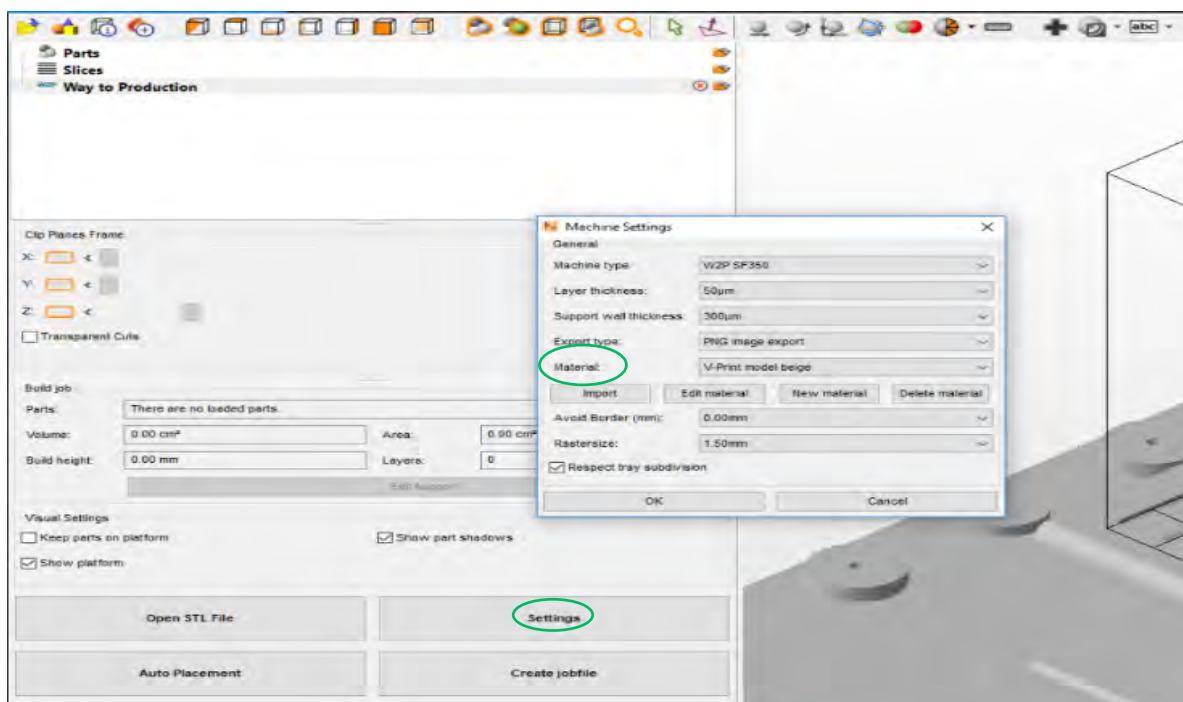



Figure 13: Choix des paramètres d'impression

Maintenant il faut importer le fichier .stl crée à partir d'Avizo.

Pour cela cliquer sur « **File** », puis « **open project** » et rechercher le fichier. Le modèle va se charger (Figure 14) :

- Le modèle apparait en jaune ou en orange. A ce stade-là, vous serez en capacité de déplacer le modèle dans tout le champ d'impression en faisant un « clic gauche ». Vous pourrez, aussi, en cliquant sur les angles du modèles faire pivoter le modèle et en maintenant un « clic droit » pourrez déplacer le point de vue du modèle et du plateau d'impression. Toutes ces fonctionnalités vous permettront de placer votre modèle comme vous le souhaitez, voire d'en insérer plusieurs sur le plateau d'impression. Le modèle devient rouge s'il est en dehors de la zone d'impression et vous devez le replacer correctement pour pouvoir passer à l'étape suivante.

Avant de mettre en place les supports d'impressions il faut surélever le modèle. Pour cela vous devez :

- Décocher « **keep parts on platform** » (entouré en vert Figure 14 et 15)
- Cliquer sur « **move parts** »  dans la barre d'outils. Une fenêtre nommée « **translate parts** » s'ouvre. Elle nous permet de déplacer le modèle dans l'espace, précisément, selon les axes x, y et z.
- Faire translation sur axe Z de 4mm pour surélever le modèle puis cliquer sur « **translate** ». La surélévation va être importante pour la réalisation ultérieure des supports inférieurs d'impression qui vont limiter les risques d'abimer les modèles lorsqu'on va les désolidariser du plateau à la fin de l'impression.

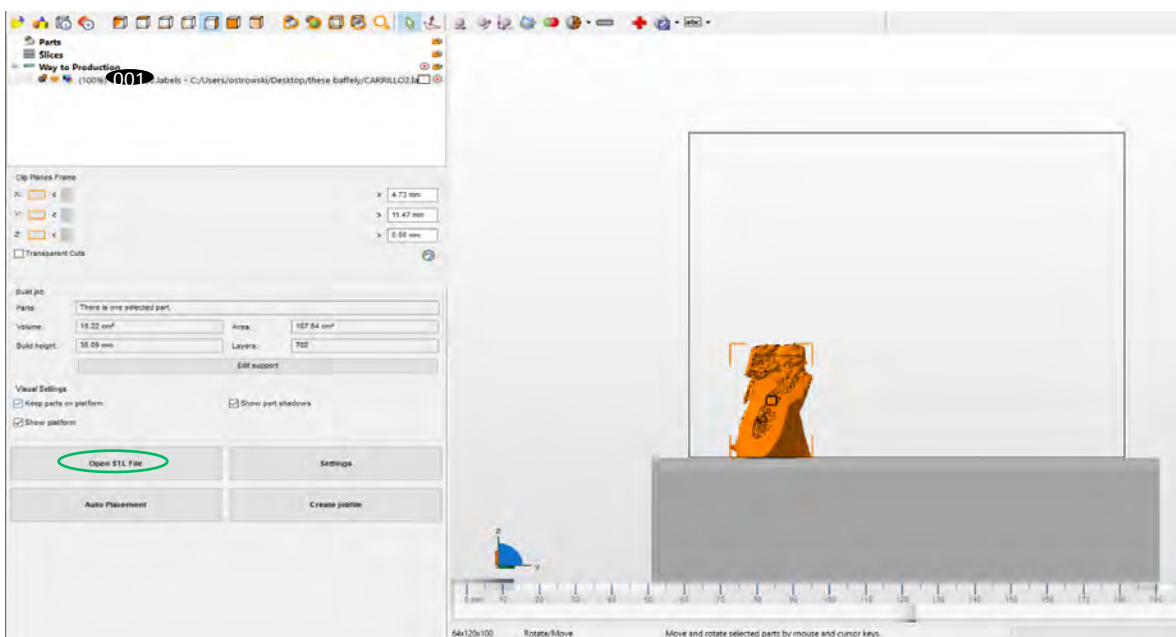


Figure 14: Positionnement du modèle sur le support



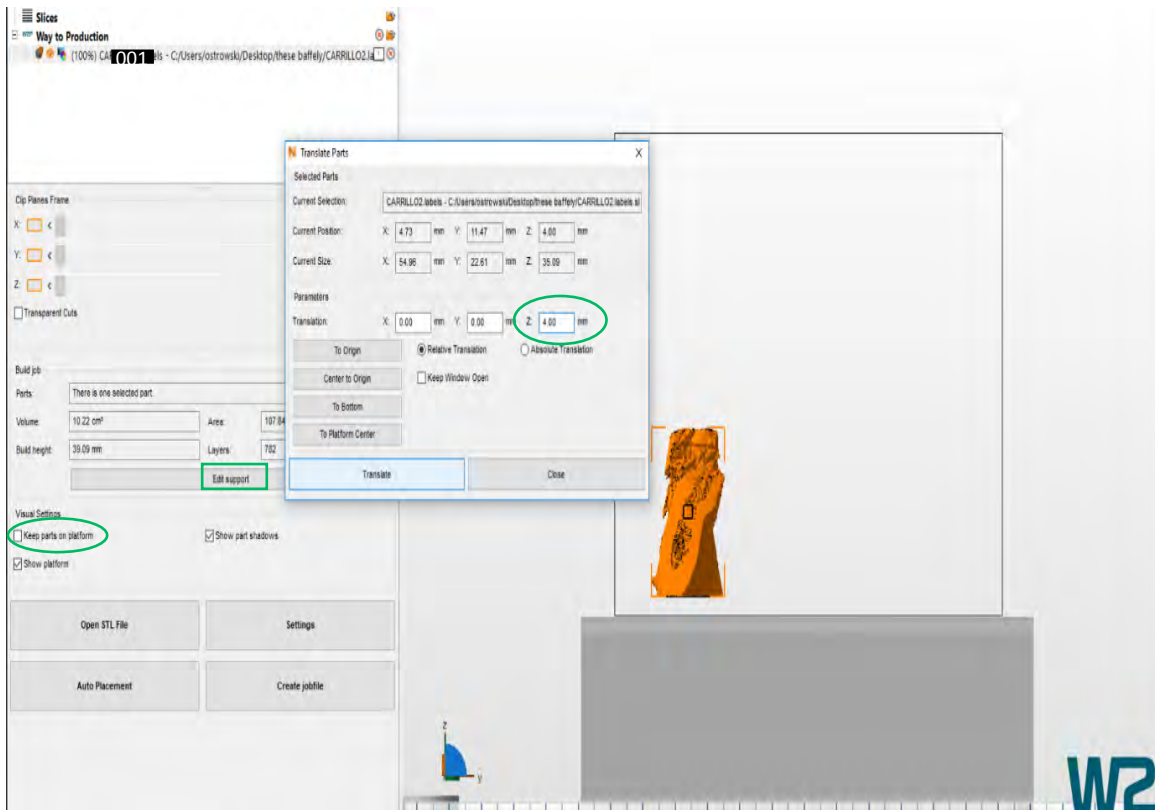


Figure 15: La translation sur l'axe Z permet la surélévation du modèle, pour pouvoir mettre en place les supports ultérieurement.

Une fois le modèle surélevé vous pouvez créer les supports.

- Cliquer sur « **edit support** » (rectangle vert Figure 15) : Le logiciel recherche les zones à supporter qui apparaissent en rouge. Ces zones dépendent du placement, précédemment effectué, du modèle. Il faut s'assurer qu'il n'y ait pas de parties du modèle dans le vide afin que tous les éléments puissent être imprimés (Figure 16)
- Deux voies sont possibles. Dans l'onglet « **analysis** » cliquer sur « **run support script** ». Le logiciel vous créera les supports. Si vous souhaitez configurer vous-même les supports, cliquer sur « **support script** » puis modifier les scripts (attention pour utilisateurs avertis) puis faites « **execute** » (Figure 16)

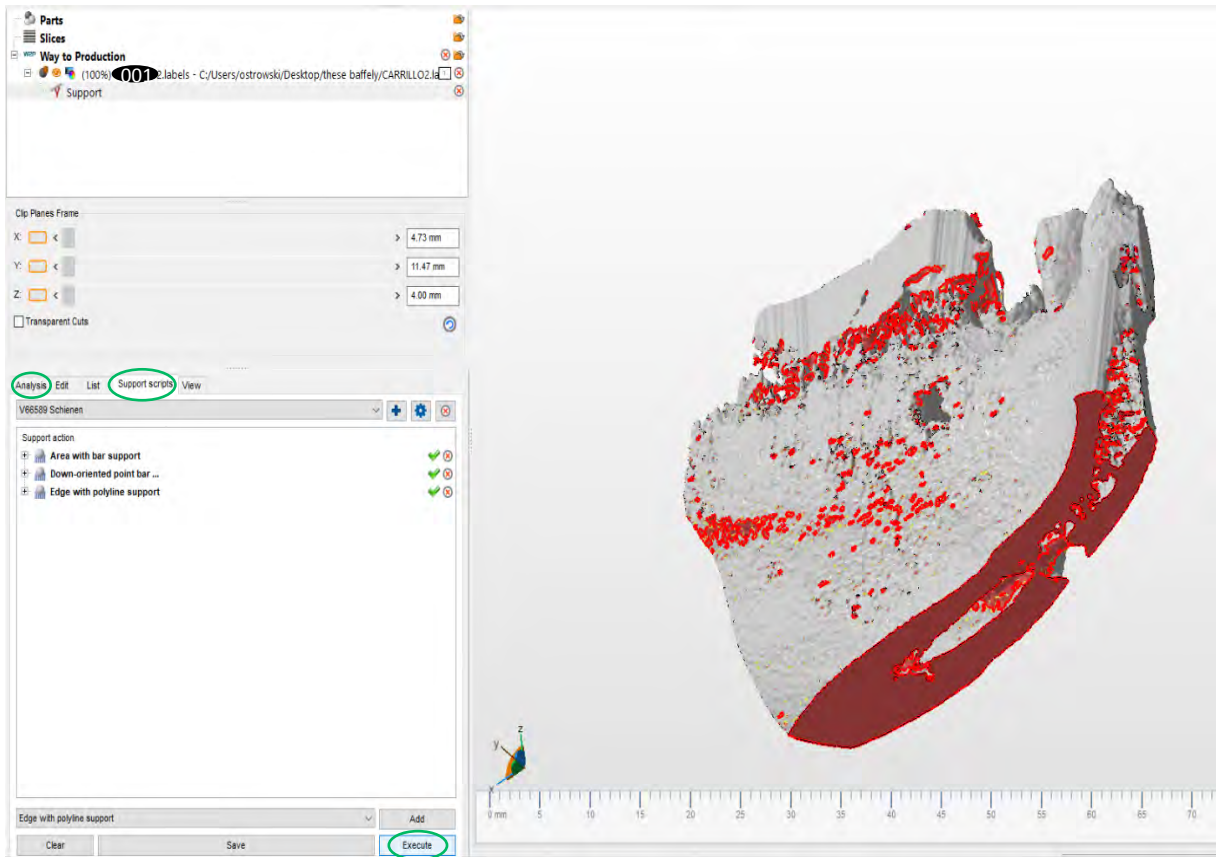


Figure 16: Matérialisation en rouge des zones à supporter

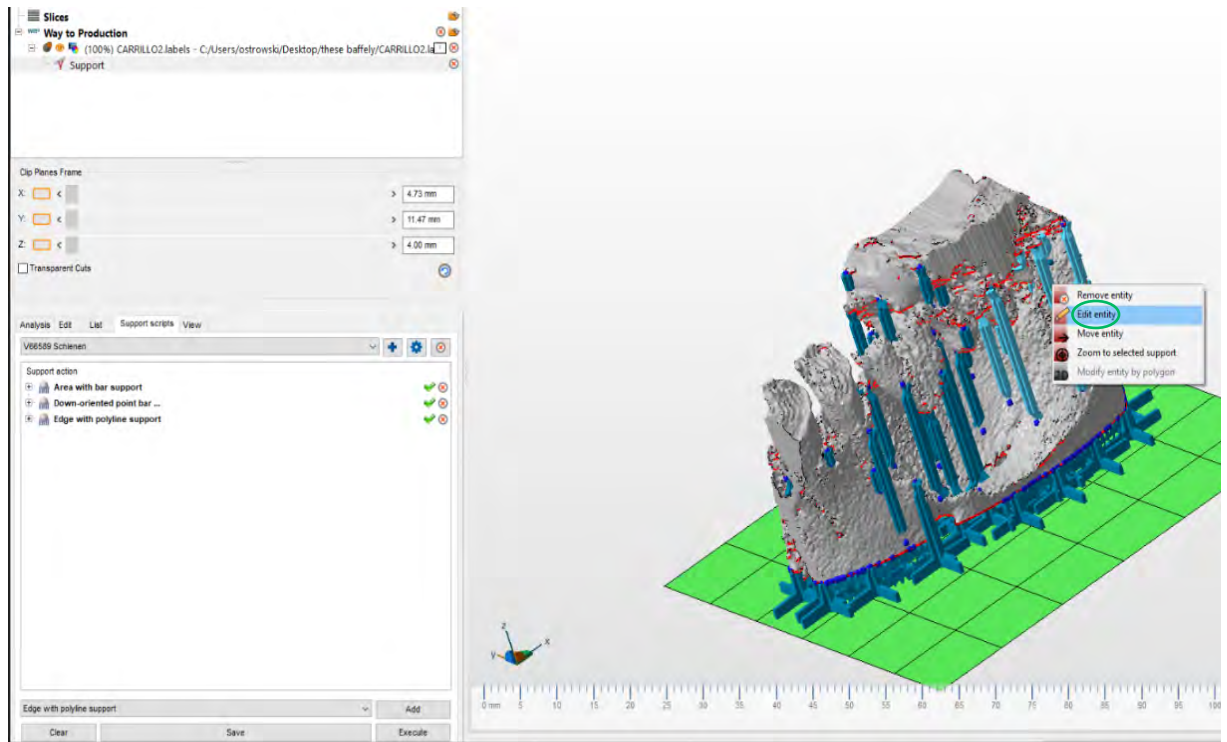


Figure 17: Matérialisation des supports d'impression

Maintenant il faut exporter votre projet pour l'impression.

- Cliquer sur « **create job file** ». Nommer le fichier et l'enregistrer en format ZIP. Le logiciel va découper l'objet 3d et les supports en plusieurs couches. Dans ce cas des couches de 50µm comme préfiguré au début, ainsi l'imprimante va réaliser le modèle, au fur et à mesure, par des couches de 50µm.

Maintenant que le modèle est découpé, il faut procéder à quelques étapes de vérification. Pour cela dézipper le fichier précédemment enregistré (avec un logiciel comme winzip ou winrar) puis :

- Ouvrir la « **layer 000** » et vérifier que tous les supports soient bien dessus (Figure 18). Si ce n'est pas le cas il faut descendre le modèle et refaire « **create job file** ». Comme l'imprimante imprime couche par couche, si la couche 0 est vide les autres couches à polymériser ne seront pas reliées au plateau et flotteront dans le bac. Le modèle ne sera donc pas imprimé.

Il convient de faire défiler les images pour s'assurer qu'il y a bien contact entre le modèle et les supports.

Si tout est validé, mettre le dossier zippé sur une clé en FAT 32 puis insérer dans l'imprimante 3D et suivre les indications affichées sur l'écran.

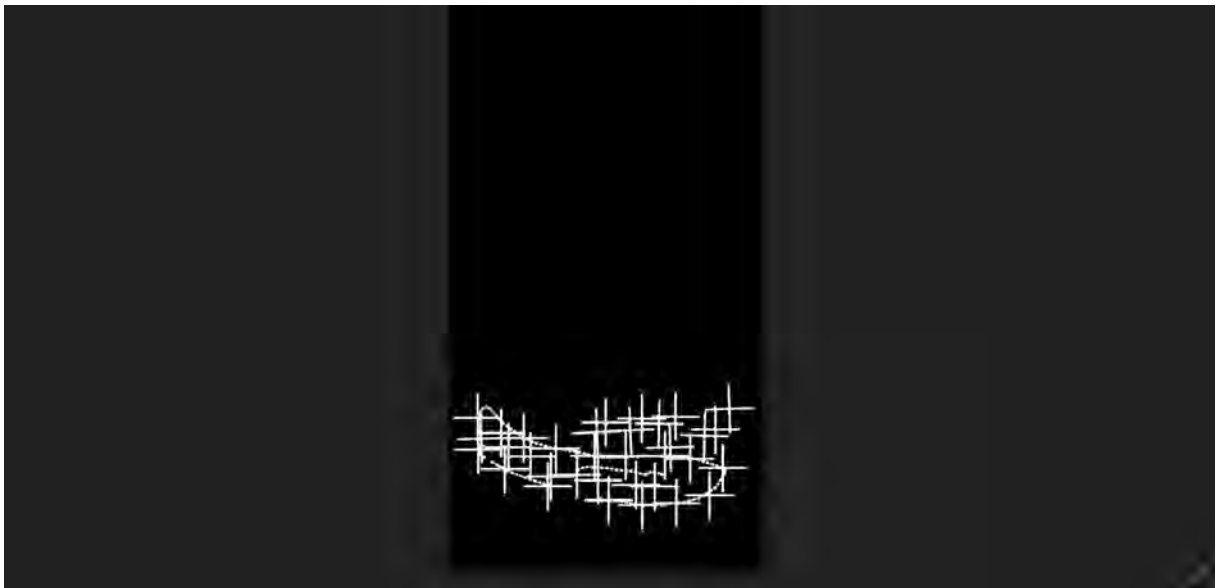


Figure 18: Layer 000

## 2) Application sur des cas cliniques

Nous avons pu mettre en œuvre ce nouveau support pédagogique lors de 2 cas cliniques, dispensés à un groupe de praticiens confirmés en formation lors de TD organisés par la faculté, présentés ci-dessous. Dans un avenir proche, notre objectif est de les mettre en œuvre avec un ou deux groupes d'étudiants afin de savoir si la réponse apportée à leur besoin est adéquate à leur attente et les points à améliorer, avant de pouvoir l'inclure totalement dans le cursus. Nous allons prendre soin de présenter des cas cliniques complets partant de la première visite des patients, des premiers examens, en passant par la prescription et les comptes rendus radiologiques, par les diagnostics différentiels pour arriver éventuellement à une orientation diagnostique et thérapeutique. Le but étant de préparer au mieux les étudiants en les mettant dans des conditions se rapprochant le plus possible de la réalité. Ces cas feront appel aux notions apprises par les étudiants dans d'autres disciplines. Nous pourrions donc faire appel à des enseignants de différentes disciplines ; ainsi nous répondons aussi au besoin d'enseignement transversal. L'appréciation de la situation en 3D lors de l'utilisation du logiciel « **3D imaging software** » pouvant être délicate, nous avons pris le soin de faire intervenir nos modèles imprimés à ce moment-là, afin qu'ils puissent corréler ce qu'ils ont en main avec ce qu'ils observent sur l'ordinateur.

**NB : Nous avons retranscrit les cas cliniques de la manière dont ils vont être présentés en TD**

### **a) Cas n°1 : Mr C**

*Un de vos confrères vous appelle à propos d'un de ses patients, qui lui cause du fil à retordre, et veut vous présenter le cas afin que vous puissiez lui donner votre démarche.*

- Bonjour John ! C'est Jack ! Je voulais discuter avec toi à propos d'un patient que je viens de recevoir à l'hôpital (centre hospitalier du GERS). Il s'agit de Monsieur C, 34 ans, un patient SDF qui vit actuellement dans sa voiture. Il a été admis pour un syndrome dépressif avec vellétés suicidaires. Il s'est plaint de douleurs insidieuses récurrentes au niveau mandibulaire qui durent depuis plusieurs années. Donc par la suite, il m'a été adressé pour que je puisse réaliser sa prise en charge dentaire.

Il est sous AMOXICILLINE et SUBUTEX. Il est atteint d'éthylisme chronique, et d'une BPCO grade 3 depuis 5 ans. Il a subi une appendicectomie, il y a une dizaine d'années, et a présenté une fracture interne de la malléole droite l'an dernier.

L'examen exo-buccal montre une tuméfaction gauche au niveau de l'angle mandibulaire. Suite à l'examen clinique, j'ai réalisé la panoramique. La voici ! (Annexe N°1)

Qu'est ce que tu en penses ?

- La volumineuse lésion secteur 3 située en regard de 35 et 36, bien délimitée et homogène semble refouler le nerf alvéolaire inférieur (Compte rendu de la pano : Annexe N°2).

Il va falloir agir chirurgicalement et pour connaître l'épaisseur des parois résiduelles ainsi que le rapport avec le nerf alvéolaire inférieur je ferais un CBCT.

- Ok, mais que prescrirais-tu ? Je ne sais pas si tu as remarqué mais j'ai l'impression qu'il y a aussi une lésion secteur 2.

- Je ferais un CBCT petit champs, avec un voxel de 150 $\mu$ m, en regard de la 36. Pour la lésion secteur 2, un CBCT ne me semble pas indiqué mais si tu veux t'en assurer, un deuxième petit champ à 150 $\mu$ m devrait suffire afin de diminuer la dose reçue par le patient.

- 2 CBCT ? D'accord mais stressé comme il est, il va bouger, ça va être flou et puis avec ses couronnes j'ai peur des artéfacts métalliques.

- Justement, si tu fais deux petits volumes, le temps d'acquisition pour chacun des volumes sera plus court et si tu lui expliques bien le processus d'acquisition et qu'il respire sans à-coup c'est gagné.

Concernant les artéfacts métalliques, tu n'as pas à t'en soucier. La lésion est située sous les couronnes donc sur ta coupe axiale, ils ne devraient pas trop gêner la visualisation.

- Merci, je te rappelle pour discuter des volumes.



*Figure 19: Modèle 3D en résine VOCO distribué en TD pour le cas numéro 1*

*Quelques jours plus tard, Jack rappelle John. Il a eu les résultats du CBCT (le volume est mis à disposition des étudiants et praticiens sur l'ordinateur. Durant la manipulation du logiciel **3DImagingSoftware** un modèle réalisé par impression 3D leur est fourni, pour faciliter l'interprétation des clichés et réaliser le compte rendu.*

- Bonjour John. J'ai sous les yeux le compte rendu du radiologue pour Mr. C. Il décrit une lésion radioclaire de 2,6cm x 1,5cm s'étendant de la partie distale de 34 à la partie mésiale de 37. La corticale vestibulaire est soufflée en regard de la 36 et amincie du côté lingual. D'après lui le nerf avéolaire inférieur n'est pas atteint car la continuité osseuse n'est pas détruite à ce niveau. Il y a juste un refoulement de structure. Je ne comprends pas car sur la reconstruction 3D j'ai bien un trou (Compte rendu du CBCT : Annexe N°3)

- Oui en effet ! Mais ce n'est pas parce que tu ne vois pas la corticale qu'elle n'existe pas. Elle peut être plus fine que ton voxel de 150µm ou a disparu suite aux différents traitements d'image réalisés pour obtenir l'impression du volume. Sinon au vu des examens radiologique tu as une idée des diagnostics différentiels potentiels ?

- Oui j'ai effectué quelques recherches et, au vu de l'imagerie, ça pourrait être tout simplement un kyste radiculo-dentaire, un améloblastome de type unikystique, , un kératokyte voire un kyste solitaire osseux.

- Je n'en vois pas d'autre non plus. Maintenant il faudrait que l'on puisse préciser notre diagnostic.

- En effet, je pense qu'une ponction au niveau de la lésion nous permettrait d'obtenir quelques informations complémentaires. Je vais même rajouter une analyse sanguine car il y a de fortes chances que j'adresse ce patient à un spécialiste. Au moins, il aura toutes les informations nécessaires pour éliminer les risques majeurs d'un acte chirurgical et on gagnera du temps (Analyse sanguine : Annexe N°4).

- Bonne idée !

- Je te fais le compte rendu la semaine prochaine !

*La semaine suivante, Jack reçoit le résultat des analyses. Il rappelle John :*

- J'ai reçu les résultats d'examen! Le liquide ponctionné est séreux hématique, jaune citrin, chargé en paillettes de cholestérine. Quant à l'analyse sanguine, elle n'a pas révélé de problèmes particuliers, à part un petit excédent plaquettaire.

- Ok ! Tu as déjà annoncé la nouvelle au patient ?

- Non, je voulais lui faire tous les examens nécessaires d'abord, pour pouvoir lui expliquer les choses de manière très claire. Je le reçois tout à l'heure, je lui exposerai la prise en charge.

- Ça marche ! A qui l'adresses-tu pour l'acte chirurgical ?

- Au Docteur Jerry!

*(Les étudiants doivent rédiger une lettre pour adresser le patient)*

## **b) Cas n°2 : Mme N**

*Une patiente se présente pour la première fois au cabinet dentaire car ses dents manquantes commencent à lui poser des problèmes. Elle a déjà vu plusieurs dentistes qui lui ont proposé « des prothèses qui s'enlèvent » mais elle souhaiterait un avis pour des implants car elle voudrait quelque chose qui tienne bien. Elle n'a pas de douleurs aux dents sauf quand elle mange « quelque chose de dur sur les dents de derrière ».*

### **Antécédents :**

- Médicaments : traitement hormonal de substitution
- Pathologies générales : Aucune
- Antécédents chirurgicaux : adénofibrome au niveau du sein gauche

**Examen endobuccal** : pas de douleurs en particulier, plusieurs lésions carieuses et restes radiculaires. Pas besoin de passer du temps sur cet élément là (voir panoramique : Annexe N°5).

**Réalisez la justification du panoramique.** Prise en charge prothétique globale, dont potentielle prise en charge implantaire.

### **Compte-rendu radiologique (Annexe N°6)**

Dents absentes : 14, 15, 16, 18, 25, 26, 27, 36, 38 et 46

Il y a une lésion carieuse conséquente sur la 48 qui atteint la furcation. On observe plusieurs lésions radio-claires péri-apicales en regard de 12, 34 et 48. Il y a une autre lésion en regard du bloc incisivo-canin mandibulaire. Elle est mixte, mal délimitée et beaucoup plus volumineuse, avec un début de mouvement dentaire mais sans rhizolyse. Cette lésion nécessitera une étude approfondie (CBCT ?)

### **Quelle est votre attitude :**

- *Annonce* : « Ecoutez Madame, regardez sur cette radiographie. Vous voyez devant ce n'est pas très net, j'aimerais bien qu'on ait une vision en 3 dimensions de cette zone pour être sûr que l'on ne passe à côté de rien. Vous êtes d'accord ? ».
- *Action* : CBCT.

**Réalisez la prescription du CBCT.** Exploration du secteur antérieur mandibulaire. Exploration du contenu, des limites et des tissus environnants une lésion radio-claire ou mixte aux contours mal limités s'étendant de la 33 à la 43. Résolution : 150-200µm.



*Figure 20: Modèle 3D en résine VOCO fractionné de Mme N*

**NB : La lésion de Mme N n'étant pas directement visible, le modèle a été fractionné afin qu'on puisse la visualiser, grâce au logiciel netfabb.**



### **Compte-rendu radiologique (Annexe N°7)**

Lésion mixte hétérogène s'étendant de la partie mésiale de la 44 jusqu'à la partie mésiale de la 32. Elle est assez mal délimitée les corticales linguale et vestibulaire grandement amincies. Il reste des éléments osseux présents au sein de la lésion et répartis de manière anarchique. Il n'y a aucune rhizolyse mais un déplacement dentaire minime associé.

Dimension : 22 mm x 9mm x 24 mm (au maximum)

### **Le champ choisi par le praticien réalisateur vous semble-t-il approprié ?**

En prenant en compte le motif de consultation initial (Consultation en vue de la réalisation d'implant) et la découverte fortuite de la lésion antérieure mandibulaire sur le panoramique, on peut considérer deux cas de figure.

Dans le premier cas de figure, où on va prendre en considération le motif de consultation du patient, un CBCT moyen champs sera approprié pour une étude de faisabilité implantaire car il est nécessaire d'avoir l'ensemble de la bouche pour réaliser une étude complète.

Dans le deuxième cas, où on va se concentrer sur la lésion mixte, un CBCT petit champ aurait pu être approprié. Néanmoins, dans l'objectif de visualiser l'extension potentielle de cette lésion, le petit champ aurait été trop petit. Le CBCT moyen champ est donc la solution paraissant la plus cohérente.

**Que facturez-vous à la sécurité sociale ?** HBQK002 - Radiographie panoramique dento-maxillaire (21,28 €) + LAQK027 - Radiographie volumique par faisceau conique du maxillaire, de la mandibule et/ou d'arcade dentaire (72,66 €) **OU** une consultation (23 €). La facturation à la sécurité sociale se discute. S'il s'agit uniquement d'une prise en charge purement implantaire, la facturation NE DOIT PAS ETRE envoyée à la sécurité sociale. Dans ce cas précis, les autres soins bucco-dentaires à réaliser justifient la facturation et du panoramique et du CBCT. D'un point de vue radioprotection, en tant que praticien, je m'étonnerais qu'un panoramique n'ait pas été récemment réalisé par un autre confrère.

### **Diagnostic différentiel.**

Le processus vous semble-t-il bénin ou malin ? Pas de douleur, effectivement la patiente a remarqué que certaines de ses dents s'étaient déplacées, mais cela fait longtemps. Pas de rhizolyse, peu de déplacement dentaire. D'un autre côté pas de soufflure de corticale, uniquement érosion.

### Diagnostiques différentiels d'une lésion mixte :

#### - Tumeur épithéliale odontogénique calcifiante [19]

Eléments favorables au diagnostique

- Entre 40-50 ans
- Généralement au niveau de la mandibule (68%)
- Pas de douleur et asymptomatique
- Lésion mal délimitée
- Patients féminins

Eléments défavorables au diagnostique

- Région molaire/ Dent de sagesse
- Associée souvent à une dent retenue



#### - Fibrome ossifiant [20]

Eléments favorables au diagnostique

- Mode d'évolution lent et asymptomatique
- Prédominance chez la femme
- Localisation mandibulaire
- Découverte fortuite
- Pas d'adénopathies

Eléments défavorables au diagnostique

- Touche surtout le groupe prémolo-molaire
- Radio opaque avec liseré de condensation
- Bien délimitée
- Touche entre 20 et 40 ans
- Tuméfaction et déformation osseuse
- Déplacements dentaires avec rhizalyse



- Fibro-odontome améloblastique [21]

Eléments favorables au diagnostique

- Touche surtout la mandibule
- Ostéolyse avec radio opacité diffuse

Eléments défavorables au diagnostique

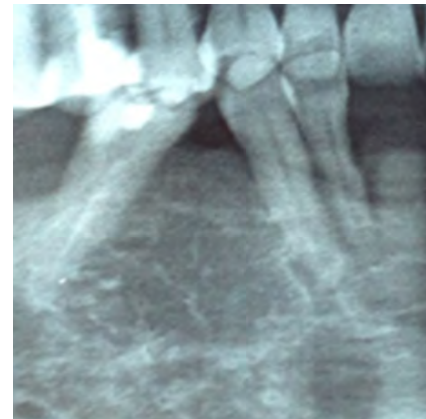
- Patients masculins (63%)
- Entre 10- 20 ans
- Région molaire
- En rapport avec une dent incluse
- Lésion bien délimitée
- Souffle la corticale
- Découverte fortuite suite à l'absence d'éruption d'une dent



- Améloblastome desmoplastique [22]

Eléments favorables au diagnostique

- 4 à 12% de tous les améloblastomes
- Patients généralement entre 40 et 50 ans
- Localisé au niveau incisivo-canin et prémolaire des maxillaires
- Evolution lente
- Déplacements dentaires (92%)
- Lésion mixte mal limitée en forme de nid d'abeille



Eléments défavorables au diagnostique

- Tuméfaction dure mais non douloureuse
- Détectée rapidement dû à la déformation labiale.
- Rhizalyses (33%)

On ne retient pas la famille des dysplasies cémento-osseuses car la lésion n'a pas du tout l'aspect.

On évoque également une métastase d'adénocarcinome (du sein par exemple), lésion très polymorphe ou éventuellement un ostéosarcome ostéoblastique en raison des antécédants de la patiente, mais au vu des symptômes c'est peu probable.

### Quelle est votre attitude :

- *Annonce* : « Mme N ? Je vais vous faire un résumé pour vous expliquer la situation actuelle... Suite à la radiographie panoramique, vous vous souvenez que j'avais un doute au niveau de la zone de devant, c'est pour cela que j'ai voulu réaliser une radio en 3D. Effectivement, vous avez une lésion à ce niveau-là. Elle ne m'a pas l'air grave mais elle est embêtante car elle est très grosse et a commencé à déplacer vos dents d'à côté. Est-ce que cela est clair pour vous ?

Pour votre santé, ce serait vraiment bien que l'on ne tarde pas à retirer cette lésion. On pourrait ainsi envoyer cette lésion pour analyse au laboratoire, et être vraiment sûr que cela n'est pas grave. Vous vous posez la question de savoir si c'est un cancer ? Au vu de tout, de la manière dont évolue cette lésion, dont elle nous apparait en radiologie, c'est très peu probable mais le laboratoire nous le confirmera.

Par contre, vous comprenez que c'est vraiment une très grande lésion que vous avez, et donc que nous sommes gênés pour l'enlever car il nous faudra très certainement enlever les dents de devant en même temps pour augmenter nos chances de guérison totale. Je sais que vous voulez des implants, mais il faudra malheureusement attendre un peu le temps que votre os cicatrise. Non, bien sûr qu'on ne vous laissera pas sans dents. Ce que l'on peut vous proposer, c'est de préparer une petite prothèse pour que vous ayez des dents juste en sortant de l'intervention. Est-ce que cela vous irait ?

Je vais, vous adresser à un de mes confrères qui est spécialisé dans la prise en charge de lésions similaires. Nous on se reverra dès qu'il aura planifié son intervention chirurgicale pour prévoir le petit appareil dont je vous parlais. Je sais que je vous apprend beaucoup de choses mais est-ce que mes explications ont été claires ? Est-ce que vous avez des questions ? N'hésitez pas à m'appeler si la moindre question vous vient par la suite.

NB : Rappeler les éléments de structuration d'une consultation (rassurer tout en n'écartant rien).

- *Action* : Patient adressée à un confrère de chirurgie orale pour éventuelle biopsie à visée d'établissement du diagnostic positif, et prise en charge thérapeutique d'exérèse.

## Conclusion

Notre travail apporte les premiers éléments de réponse et d'amélioration à la problématique de formation en matière d'imagerie avancée. Un travail préalable avait préconisé, entre autres, l'ajout de cas cliniques, un temps de manipulation des logiciels plus conséquent, une aide lors de l'interprétation numérique ainsi qu'un regroupement multidisciplinaire lors de présentations de cas cliniques.

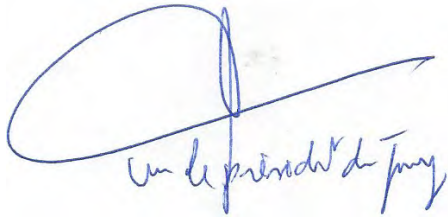
Nous avons pu constater ces manques, en termes de manipulation et de repère, lors d'un TD de formation continue pour des praticiens confirmés, à qui nous avons présenté le premier cas clinique. Nous leur avons demandé d'étudier la lésion du patient sur un CBCT, via le logiciel « 3DImagingSoftware », et de nous décrire cette dernière afin de réaliser un compte rendu. Certains ont eu du mal avec l'utilisation du logiciel ainsi que le repérage dans l'espace lors de l'interprétation des clichés. Nous leur avons fourni les modèles 3D et l'accès à ces derniers leur a permis d'avoir une meilleure appréciation de la lésion et de sa situation ce qui leur a facilité l'utilisation du logiciel et l'interprétation du cliché 3D. L'intervention des modèles a suscité beaucoup de retours positifs des praticiens ne parvenant pas à se repérer dans l'espace, à visualiser correctement la lésion et à utiliser le logiciel « 3D imaging software », tout comme des praticiens ayant été à l'aise avec ce sujet, qui ont apprécié l'initiative et l'innovation de notre démarche. L'association de ces deux supports pédagogiques leur a été bénéfique. Les modèles 3D n'ont pas été au centre du TD, mais leur utilisation à un moment précis (Interprétation des clichés 3D sur « **3DImagingSoftware** ») a permis la coalition des deux supports pédagogiques pour optimiser l'apprentissage et le niveau de connaissance dans l'application, la justification, l'acquisition et l'interprétation d'un CBCT.

A ce stade-là, la prochaine étape consistera à intégrer ce support et cette manière de travailler à une promotion de 5<sup>ème</sup> année.

Il nous sera aussi possible de créer au fil du temps une banque de cas cliniques numériques, qui ont déjà été préparés au préalable (étape Avizo et Netfabb) et qui n'ont plus qu'à être imprimés. Ils pourraient servir, par la suite, à créer un « serious game » (procédé d'apprentissage ludique qui allie le divertissement à l'enseignement) qui apportera une dimension pratique supplémentaire à l'apprentissage et à l'évaluation des étudiants qui seront mis en situation réelle à travers un jeu vidéo [27].

A noter que le développement à grande vitesse de la bio-impression sera un domaine à explorer dans les futures recherches. Cette technique, permettant de créer des structures cellulaires grâce à une imprimante 3D particulière qui ajoute des cellules, couche par couche, afin d'obtenir des modèles complexes multicellulaires vivants, a un bel avenir et commence à être utilisée dans le cadre de la médecine régénérative pour la production de structures dites simples. Néanmoins, l'utilisation de cette méthode reste à approfondir afin de pouvoir réaliser des structures plus complexes qui pourront au final déboucher sur la création d'organes à greffer. Il sera donc intéressant de déterminer dans quelle mesure cette technique pourra apporter une plus-value significative dans la pédagogie odontologique, sachant qu'il y a déjà des recherches en cours pour pouvoir utiliser la bio-impression afin de réaliser des modèles d'organes vivants que les étudiants de médecine pourront disséquer au vu du manque de cadavre disponible [29] [31] [32].

Quoi qu'il en soit, grâce aux bienfaits avérés de ces modèles et de cette méthode de travail, de nouvelles perspectives pourraient s'ouvrir pour les facultés d'odontologie. On pourrait, grâce au potentiel de l'impression 3D, les inciter à investir de manière plus conséquente dans ce domaine afin de pouvoir bénéficier des meilleures imprimantes 3D, des meilleurs matériaux, afin d'augmenter le niveau technique de nos impressions, d'être d'actualité en ce qui concerne le développement de l'impression 3D dans le milieu médical, participer à son essor et surtout que les futurs dentistes puissent bénéficier des enseignements les plus aboutis et complets possible.



Un des présidents du jury



Vu le co-directeur de thèse  
Paul Monsarrat

---

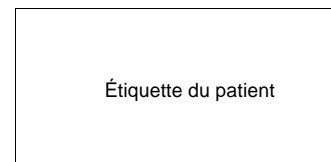
# ***Annexes***

---

Annexe 1 : Orthopantomogramme de Mr C







**PÔLE ODONTOLOGIQUE**

**Service de Consultations-Imagerie**

**Toulouse, le 5/12/2018**

**COMPTE RENDU RADIOLOGIQUE**

**Nom du patient : C**

**Prénom du patient : T**

**Date de naissance :**

**Demande :**      **Interprétation :**

**Date de l'examen :** 29/11/2018

**Type d'examen :** Orthopantomogramme

**Indications :** Recherche d'informations complémentaires suite à l'examen clinique

**Technique :**

Tomographie en coupe épaisse (zonographie) sur capteur numérique CCD plan

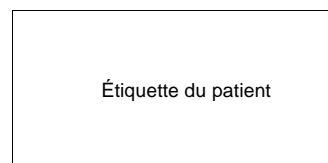
**Dose PDS :**

68kV, 10 mA, 15,8s, 121,7 mGy\*cm<sup>2</sup>

**Résultats :**

- lésion secteur 3 située en regard de 35 et 36, bien délimitée, homogène, semble refouler le nerf alvéolaire inférieur avec déplacements dentaires

**Signature :**



**PÔLE ODONTOLOGIQUE**

**Service de Consultations-Imagerie**

**Toulouse, le 5/12/2018**

**COMPTE RENDU RADIOLOGIQUE**

**Nom du patient : C**

**Prénom du patient : T**

**Date de naissance :**

**Demande :**      **Interprétation :**

**Date de l'examen :** 29/11/2018

**Type d'examen :** CBCT/Cone Beam

**Indications :** Evaluation du rapport entre la lésion et le nerf alvéolaire inférieur

**Technique :**

Tomographie volumique à faisceau conique et petit champ. Résolution spatiale 150µm. Nbre de secteurs :1

**Dose PDS :**

vol1: 150 mGy.cm2

**Résultats :**

- lésion radioclaire de 2,6cm x 1,5cm s'étendant de la partie distale de 34 à la partie mésiale de 37.
- La corticale vestibulaire est soufflée en regard de la 36 et amincie du côté lingual.
- Le nerf avéolaire inférieur n'est pas atteint car la continuité osseuse n'est pas détruite à ce niveau. Il y a juste un refoulement de structure.

**Signature :**

Annexe 4 : Analyse sanguine de Mr C

<b>SEROLOGIE</b>		
Tube Sec avec gel		
Résultat	Valeur de référence	Antériorité
<b>RECHERCHE DES MARQUEURS DE L'HEPATITE B.</b>		
Virus de l'hépatite B :		
Recherche de l'ANTIGENE HBs . . . .	NEGATIVE	
Electrochimiluminescence sur Cobas 6000 Roche		
Virus de l'hépatite B :		
Recherche des ANTICORPS anti-HBc totaux	NEGATIVE	
Electrochimiluminescence sur Cobas 6000 Roche		
<b>RECHERCHE DES MARQUEURS DE L'HEPATITE B.</b>		
Virus de l'hépatite B :		
Recherche des ANTICORPS anti-HBs	>1 000 UI/l	
Electrochimiluminescence sur Cobas 6000 Roche (Seuil de protection= 10 UI/l).		
<b>RECHERCHE DES MARQUEURS DE L'HEPATITE C</b>		
Recherche des ANTICORPS anti-VHC	NEGATIVE	
Electrochimiluminescence sur Cobas 6000 Roche		
<b>RECHERCHE DES MARQUEURS SEROLOGIQUES DE L'INFECTION A V.I.H.</b>		
Anticorps anti- VIH 1/2 et Ag p24 du VIH1		
Electrochimiluminescence sur Cobas 6000 Roche	NEGATIVE	

Annexe 4: Analyse sanguine de Mr C (suite)

Réception :  
 Date de réception : 16/11/17 à : 08H40m  
 Prélèvement :  
 Date de prélèvement : 16/11/17 à : 08H00m

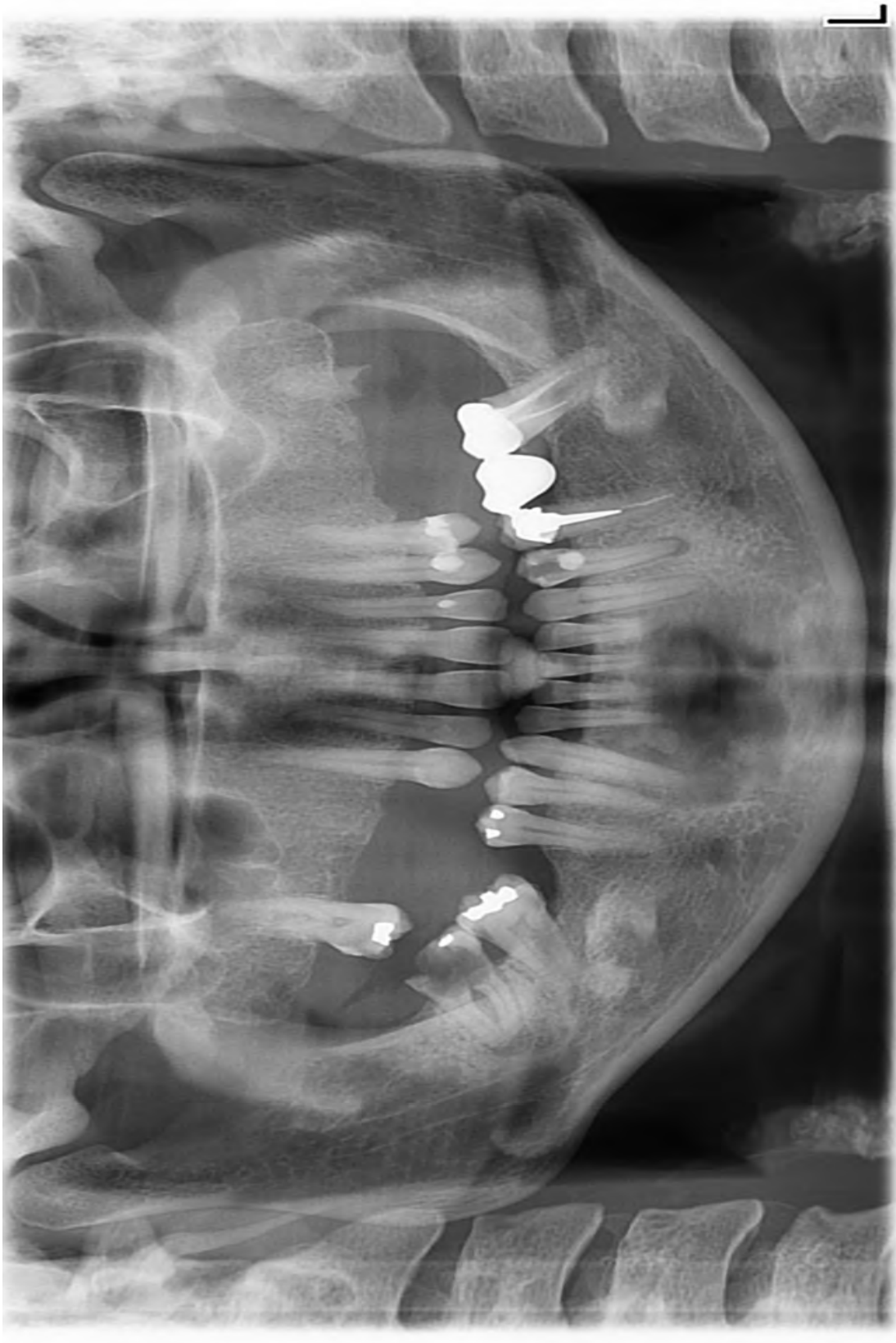
## CYTOLOGIE SANGUINE

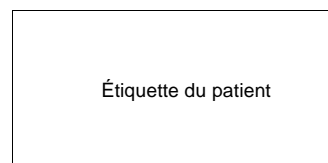
	Résultat		Valeur de référence		Antériorité
HEMOGRAMME (établi sur XE 2100 société SYSMEX - Tube EDTA K2)					
<b>NUMERATION GLOBULAIRE</b>					
Leucocytes.....	9,02	$10^3/mm^3$	4,00 à 11,00	6,15	13/11/17
Hématies.....	4,31	$10^6/mm^3$	4,28 à 6,00	4,19	13/11/17
Hémoglobine.....	13,3	g/dl	13,0 à 18,0	12,6	13/11/17
Hématocrite.....	39	%	39 à 53	38	13/11/17
V.G.M.....	91	fl	78 à 98	90	13/11/17
T.G.M.H.....	31	pg	26 à 34	30	13/11/17
C.G.M.H.....	34	%	31 à 36,5	34	13/11/17
<b>FORMULE LEUCOCYTAIRE</b>					
Poly.neutrophiles....60,7 % soit.	5 475	/mm <sup>3</sup>	1 400 à 7 700	3 629	13/11/17
Poly.éosinophiles....4,4 % soit.	397	/mm <sup>3</sup>	20 à 630	141	13/11/17
Poly.basophiles.....0,7 % soit.	63	/mm <sup>3</sup>	0 à 110	31	13/11/17
Lymphocytes.....28,0 % soit.	2 526	/mm <sup>3</sup>	1 000 à 4 800	1 962	13/11/17
Monocytes.....6,2 % soit.	559	/mm <sup>3</sup>	180 à 1 000	388	13/11/17
<b>NUMERATION PLAQUETTAIRE</b>					
Plaquettes.....	* 461	$10^3/mm^3$	150 à 400	418	13/11/17

Annexe 4: Analyse sanguine de Mr C (Suite)

<b>HEMOSTASE</b>			
Etablie sur instrument STA Compact (Stago) - Tube Citrate de Sodium			
Résultat	Valeur de référence	Antériorité	
Temps de QUICK du témoin.....	13,2	sec.	
Temps de QUICK du malade.....	14,6	sec.	12,0 à 22,0
Taux de Prothrombine du malade..	81,0	%	65,0 à 100,0
INR.....	1,1		
<b>BIOCHIMIE SANG</b>			
Etabli sur instrument Cobas 6000 Roche (ou autre automate : précisé) - Tube Héparine de Lithium (ou autre : précisé)			
Résultat	Valeur de référence	Antériorité	
<b>TRANSAMINASES</b>			
Transaminase T.G.O. (=A.S.A.T.)	15	UI/l	<40.
Spectrophotométrie			
Transaminase T.G.P. (=A.L.A.T.)	11	UI/l	<41.
Spectrophotométrie			
Gamma Glutanyl Transpeptidase..	28	UI/l	6 . à 61
Spectrophotométrie			
Bilirubine totale. (3,3 mg/l) =	5,6	µmol/l	<21,0
Spectrophotométrie			
Proteine C Reactive (C.R.P.)....	3	mg/l	< 5
Immunoturbidimétrie			

Annexe 5: Orthopantomogramme de Mme N





**PÔLE ODONTOLOGIQUE**

**Service de Consultations-Imagerie**

**Toulouse, le 5/10/2018**

**COMPTE RENDU RADIOLOGIQUE**

**Nom du patient : N**

**Prénom du patient : G**

**Date de naissance :**

**Demande :**      **Interprétation :**

**Date de l'examen :** 29/09/2018

**Type d'examen :** Orthopantomogramme

**Indications :** Prise en charge prothétique globale, dont potentielle prise en charge implantaire

**Technique :**

Tomographie en coupe épaisse (zonographie) sur capteur numérique CCD plan

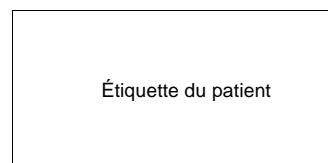
**Dose PDS :**

68kV, 10 mA, 15,8s, 121,7 mGy\*cm<sup>2</sup>

**Résultats :**

- Dents absentes : 14, 15, 16, 18, 25, 26, 27, 36, 38 et 46
- Lésion carieuse conséquente sur la 48 qui atteint la furcation
- Lésions radio- claires péri apicales en regard de 12, 34 et 48.
- Lésion en regard du bloc incisivo-canin mandibulaire, mixte, mal délimitée, volumineuse et avec un début de mouvement dentaire mais sans rhizalyse

**Signature :**



**PÔLE ODONTOLOGIQUE**

**Service de Consultations-Imagerie**

**Toulouse, le 5/10/2018**

**COMPTE RENDU RADIOLOGIQUE**

**Nom du patient : N**

**Prénom du patient : G**

**Date de naissance :**

**Demande :**      **Interprétation :**

**Date de l'examen :** 29/09/2018

**Type d'examen :** Cone beam

**Indications :** Exploration du secteur antérieur mandibulaire

**Technique :**

Tomographie volumique à faisceau conique et moyen champ. Résolution spatiale : 150um. Nb de secteurs : 1

**Dose PDS :**

Vol1 : 150um\*mGy.Cm2

**Résultats :**

- Lésion mixte hétérogène s'étendant de la partie mésiale de la 44 jusqu'à la partie mésiale de la 32, mal délimitée, corticales linguale et vestibulaire amincies. Il reste des
- Éléments osseux présents au sein de la lésion et répartis de manière anarchique.
- Aucune rhizalyse mais un déplacement dentaire minime associé.
- Dimension : 22 mm x 9mm x 24 mm

**Signature :**



---

# ***Bibliographie***

---

- [1] M.Montmartin, C. Meyer, E. Euvrard, L. Pazart, E. Weber et M. Benassarou, «L'impression 3D à l'hôpital: Quelle réglementation en France?», *Revue de Stomatologie, de Chirurgie Maxillo-Faciale et de chirurgie Orale*, pp. 302-307, 2015.
- [2] C. Li, T. F. Cheung, V. C. Fan, K. M. Sin, C. W. Y. Wong et G. K. K. Leung, «Applications of Three-Dimensional Printing in Surgery», *Surgical innovation*, vol. 1, n° 117, 2016.
- [3] N. Martelli, C. Serrano, H. v. d. Brink, J. Pineau, P. Prognon, I. Borget et S. E. Batti, «Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery», *Surgery*, 2016.
- [4] J. U. Pucci, B. R. Christophe, J. A. Sisti et E. S. Connolly, «Three-dimensional printing: technologies, applications, and limitations in neurosurgery», *Biotechnology Advances*, 2017.
- [5] F. Daube, «Les compétences du chirurgien en imagerie 3D», Toulouse, 2017.
- [6] W. Cho, A. V. Job, J. Chen et H. B. J., «A review of current clinical applications of three-Dimensional Printing in spine surgery», *Asian Spine Journal*, pp. 171-177, 2017.
- [7] L.M.Meier, M.Meineri, J. Q. Hiansen et E. M.Horlick, «Structural and congenital heart disease interventions: the role of three-dimensional printing», *Neth heart J*, 2016.
- [8] P. G. McMenemy, M. R. Quayle, C. R. McHenry et J. W. Adams, «The Production of Anatomical Teaching Resources Using Three-Dimensional (3D) Printing Technology», *Anatomical Sciences Education*, 2014.
- [9] D. H. Ballard, A. P. Trace, S. Ali, T. Hodgdon, M. E. Zygmunt, C. M. D. Benedectis, S. E. Smith, M. L. Richardson, M. J. Patel, S. J. Decker et L. Lenchik, «Clinical Applications of 3D Printing: Primer for Radiologists», *academic radiology*, 2017.
- [10] D. Preece, S. B. Williams, R. Lam et R. Weller, «“Let’s Get Physical”: Advantages of a Physical Model Over 3D Computer Models and Textbooks in Learning Imaging Anatomy», *Anatomical Sciences Education*, pp. 216-223, 2013.
- [11] P. Sonia, B. Michael, N. Joshua, K. Ron et S. Kitt, «Using 3D Modeling Techniques to Enhance Teaching of Difficult Anatomical Concepts», *Academic radiology*, 2016.
- [12] T. W. Jones et M. D. Seckeler, «Use of 3D models of vascular rings and slings to improve resident education», *Congenital heart disease*, pp. 1-5, 2017.
- [13] S. Chen, Z. Pan, Y. Wu, Z. Gu, M. Li, Z. Liang, H. Zhu, Y. Yao, W. Shui, Z. Shen, J. Zhao et H. Pan, «The role of three-dimensional printed models of skull in anatomy education: a randomized controlled trial», *scientific reports*, 2017.
- [14] Z. Li, Z. Li, R. Xu, M. Li, J. Li, Y. Liu, D. Sui, W. Zhang et Z. Chen, «Three-dimensional printing models improve understanding of spinal fracture—A randomized controlled study in China», *Scientific reports*, 2015.
- [15] M. Knoedler, A. H. Feibus, A. Lange, M. M. Maddox, E. Ledet, R. Thomas et J. L. Silberstein, «Individualized Physical 3-dimensional Kidney Tumor Models Constructed From 3-dimensional Printers Result in Improved Trainee Anatomic Understanding», *Urology*, 2015.
- [16] J. P. Costello, L. J. Olivieri, L. Su, A. Krieger, F. Alfares, O. Thabit, M. B. Marshall, S.-J. Yoo, P. C. Kim, R. A. Jonas et a. D. S. Nath, «Incorporating Three-dimensional Printing into a Simulation-based Congenital Heart Disease and Critical Care Training Curriculum for Resident Physicians», *Congenital heart disease*, pp. 185-190, 2015.

- [17] Kah Heng Alexander Lim, Z. Y. Loo, S. J. Goldie, J. W. Adams et P. G. McMenam, «Use of 3D printed models in medical education: A randomized control trial comparing 3D prints versus cadaveric materials for learning external cardiac anatomy,» *anatomical sciences education*, pp. 213-221, 2016.
- [18] S. C. F, T. Nicholas, C. Derek et J. Malcolm, ««Take away body parts! An investigation into the use of 3D-printed anatomical models in undergraduate anatomy education,» *Anatomical sciences education*, pp. 44-53, 2018.
- [19] J. A. A. d. Arruda, L. G. Abreu, L. V. d. O. Silva, L. F. Schuch, J. L. G. C. Monteiro, D. A. C. Arantes, A. A. S. d. Costa et K. H. S. N. e. al., «Calcifying epithelial odontogenic tumours: collaborative study of 32 cases and review of literature,» *Oral diseases*, 2018.
- [20] B. COURTOIS, C. MADRID, D. DURAN et M.-P. LABADIE, «Fibrome cémento-ossifiant du maxillaire : difficultés pour le diagnostic différentiel et la classification,» *médecine buccale chirurgie buccale*, vol. 10, n° 11, p. 21, 2004.
- [21] J.-M. Péron et H. Hardy, «Tumeurs odontogéniques mixtes,» *Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-Faciale*, vol. 4, n° %110, pp. 217-220, 2009.
- [22] A. E. HADDAJI, «La prise en charge chirurgicale des améloblastomes mandibulaires,» Marrakech, 2016.
- [23] B. ZHANG, «Fusion sélective par laser: Influence de l'atmosphère et réalisation de l'alliage in situ,» Belfort-Montbéliard, 2013.
- [24] S. S. RESTREPO, «L'impression 3D par Stéréolithographie, on vous explique tout !,» 14 Juillet 2016. [En ligne]. Available: <https://www.3dnatives.com/limpression-3d-par-stereolithographie-on-vous-explique-tout/>.
- [25] A. BELLINI, «Fused deposition of ceramics: A comprehensive experimental, analytical and computational study of material behavior, fabrication process and equipment design,» Drexel, 2002.
- [26] M. Singh, H. M. Haverinen, P. Dhagat et G. E. Jabbour, «Inkjet Printing: Process and Its Applications,» *Advanced materials*, vol. 22, pp. 673-685, 2010.
- [27] K. R. Buijs-Spanjers, H. H. Hegge, C. J. Jansen, E. Hoogendoorn et S. E. d. Rooij, «A Web-Based Serious Game on Delirium as an Educational Intervention for Medical Students: Randomized Controlled Trial,» *JMIR serious games*, vol. 6, n° %14, 2018 oct-Dec.
- [28] D. RICHARDS, J. JIA, M. YOST, R. MARKWALD et Y. MEI, «3D Bioprinting for Vascularized Tissue Fabrication,» chez *Annals of Biomedical Engineering*, Clemson, Biomedical engineering society, 2016.
- [29] M. R., «La bio-impression, futur de la médecine sur-mesure ?,» 3Dnatives, le média de l'impression 3D, 18 Mai 2017. [En ligne]. Available: <https://www.3dnatives.com/bio-impression-18052017/>. [Accès le 20 Novembre 2018].
- [30] A. Dawood, B. M. Marti, V. S. Jackson et A. Darwood, «3D printing in dentistry,» *British dental journal*, vol. 219, n° 111, pp. 521-529, 2015.
- [31] V. FAVOT, A. ZAUG et L. KROELL, «Bio- Impression : Utopie ou réalité ?,» 2015. [En ligne]. Available: <https://bio-impression.weebly.com/>. [Accès le 20 Novembre 2018].

[32] Y. S. ZHANG, K. YUE, J. ALEMAN, K. MOLLAZADEH-MOGHADDAM, S. M. BAKHT, J. YANG, W. JIA, V. DELL'ERBA, P. ASSAWES, S. R. SHIN, M. R. DOKMECI et R. OKLU, «3D Bioprinting for Tissue and Organ Fabrication» *Annals of Biomedical Engineering*, vol. 1, n° 145, pp. 148-163, avril 2016.

Marty. M; Broutin. A; Vergnes. J-N & Vaysse. F (2019). Comparison of student's perceptions among 3D printed models versus series models in pediatric in dentistry hands-on session. *Journal européen de l'enseignement dentaire* , 23 (1), 68-72

---

**INTEGRATION DE L'IMPRESSIION 3D DANS LA PEDAGOGIE EN ODONTOLOGIE :  
EXEMPLE DE L'IMAGERIE AVANCEE**

---

**RESUME EN FRANÇAIS :**

Suite au constat de certains manques en imagerie 3D, durant le cursus universitaire des étudiants, il a été proposé un projet pédagogique sur lequel nous nous sommes basés pour ce travail d'intégration de modèles 3D. Un guide de fabrication de modèle 3D a été réalisé pour permettre à toute personne ou faculté intéressée par notre démarche d'en réaliser facilement. Notre objectif est de faire de ces modèles 3D un complément aux supports pédagogiques traditionnels, en faisant travailler et réfléchir les étudiants sur des cas complexes qui les pousseront à exploiter ces modèles et à faire appel à toutes les notions acquises dans les autres disciplines au fil de leur cursus, afin de les préparer au mieux pour leur exercice libéral. Ces modèles seront utilisés lors de l'analyse des acquisitions radiologiques pour simplifier leur interprétation.

---

**TITRE ET RESUME EN ANGLAIS :**

**INTEGRATION OF 3D PRINTING IN EDUCATION IN DENTISTRY : EXAMPLE OF AD-  
VANCED IMAGERY**

Following the observation of some gaps in 3D imaging, during the students' university curriculum, it was proposed a pedagogical project on which we based ourselves for this work of integration of 3D models. A 3D model production guide has been developed to enable anyone or faculty interested in our approach to make it easily. Our goal is to make these 3D models a complement to traditional teaching materials, by making students work and reflect on complex cases that will prompt them to use these models and all the knowledge acquired in other disciplines as they progress, in order to prepare them for their liberal exercise. These models will be used in the analysis of radiological acquisitions to simplify their interpretation.

---

**DISCIPLINE ADMINISTRATIVE :** Chirurgie dentaire

---

**MOTS CLES :** Impression 3D, Pédagogie, Imagerie, CBCT

---

**INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR :**

Université Toulouse III – Paul Sabatier – Faculté de chirurgie dentaire  
3 chemin des Maraîchers  
31062 Toulouse Cedex

---

**DIRECTEUR DE THESE :** Docteur Damien OSTROWSKI