

UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNEE 2020

2020 TOU3 3014

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

Paul MADAULE

**Utilisation de la réalité augmentée à visée pédagogique en
Odontologie**

Directeur de thèse : Dr Paul MONSARRAT

JURY

Président : Pr Franck DIEMER
1er assesseur : Dr Paul MONSARRAT
2ème assesseur : Dr Damien OSTROSWKI
3ème assesseur : Dr Damien OSTROSWKI



Remerciements :

- *A Mathieu, disparu bien trop tôt pendant que j'étais en train d'écrire ce manuscrit. Merci pour toutes ces discussions sur l'avenir, sérieuses ou pas, mais toujours avec un sourire qui te caractérisait. Tu nous manques mon cousin.*
- *A mes parents qui m'ont soutenu depuis le début dans ses études longues et pas toujours faciles. Merci de toujours avoir été là dans les bons comme dans les mauvais moments. Un fils pas toujours facile à supporter, vous êtes géniaux !*
- *A mon frère, Jean, l'unique, le deuxième petit blond, je sais pas si j'en serai arrivé la si t'étais pas là, on s'en mets plein la tête, mais ça nous a poussé vers le haut ! Merci l'artiste !*
- *A Mamou, ma grand-mère adorée, toujours là pour me réconforter et me permettre de prendre un bon bol d'air frais dans les hauts cantons héraultais.*
- *A ma tante et mon oncle maternels, Marie-Françoise et Bernard, toujours bien veillant et de bon conseils. Merci pour tous ces bons moments passés en votre compagnie.*
- *A ma tante et mon oncle paternels, malgré la distance et le fait qu'on se voit peu, votre présence est toujours d'une grande importance.*
- *A mes (grandes) cousines, Chloé et Caroline, toujours là pour rire et s'amuser, que serait un été Lamalousien sans vous. Merci pour tous ses moments ensemble et que ça dure.*
- *A mes (grandes) cousines, Marie et Sophie, nos rencontrent se font rares mais elles sont toujours aussi agréables.*
- *A Jouze, une découverte tardive.....mais quelle découverte ! Un très grand ami que je dois remercier pour son soutien à toute épreuve (il saura de quoi je parle), et tous ces délires qu'on a en commun. . Merci Maroun, et sache que l'aventure ne fait que commencer.*
- *A Romain, l'acolyte des débuts, celui qui m'a donné encore plus la passion du ski et des grands espaces. Merci Corps à muscu pour tous ces moments inoubliables depuis maintenant quelques années. Les deux boulets de terminales ils sont ou ?*
- *A John, mon grand binôme. Merci pour tous ces conseils, aussi bien privés que professionnels, dans tous les secteurs t'es le king ! On ne parlera pas aujourd'hui de tout ce qu'on a fait ensemble mais on se comprend ! J't'embrasse Frero*
- *A Julie, la briganté, présente depuis le premier jour du début de ces belles études. Un soir au détour d'un apéro tu étais là, et depuis ce jour-là on en a pas raté beaucoup. A coup sur ma chirurgienne préférée !*
- *A notre team d'ariégeois, Arnaud, Julien et Pierre mon cher confrère. Que dire ? Une tonne de bons souvenirs avec vous, donc une tonne de merci pour toutes ces années, c'était incroyable. Et sachez qu'on a pas fini de se perdre dans les montagnes, et pas qu'ariégeoises !*
- *A la team Cordaise, Julie, Romain, Lionel et Cecilia ! Merci pour ces 4 mois passés ensemble, qui m'ont donné gout au travail de qualité et surtout au travail dans la convivialité et la bonne humeur. J'ai beaucoup appris grâce à vous !*
- *A Arthur Delmond, le seul, l'unique, le grand ami du lycée. Le début d'une longue histoire qui commence, je te souhaite tout le bonheur possible et je te confirme à nouveau que je serai là en septembre 2021.*
- *A, Pauline Gouchet, Adrien Merle-Beral, Vincent Dalens, Clement Pujos, Arthur Familiades, Constance Sempé, Aurore Daoudi, Pauline Papeil, Bertrand Caparros, Geoffrey Badoures, Lucas Massat, Charles Benezech, Sylvain Bourdoncle, Nafissa Tehami, Clarisse Mouret, Marie Krouk, Camilel Dazet, Matthis Blanc, Nicloas Alaux, Jean Papaix, Ségolène Thuel, Mathilde Dax, Hermance Rivière, Etienne Bosque, Sarah Bouchité. Un Grand MERCI pour tous les bons moments passés en votre compagnie.*

**A notre président du jury de thèse,
A Monsieur le Professeur DIEMER Franck**

Je vous remercie sincèrement de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de thèse. Votre sens de la pédagogie combiné à votre volonté de transmettre le savoir, m'auront grandement marqué durant toutes mes études.

Merci de votre bienveillance, en cela je vous en suis grandement reconnaissant.

Merci de vos conseils sur les différents sujets que nous avons pu aborder ensemble, ils m'ont été d'une précieuse aide.

A notre directeur de thèse,

A Monsieur le Docteur MONSSARAT Paul

A notre jury de thèse,

A Monsieur le Docteur OSTROSWKI Damien,

A notre jury de thèse,

A Monsieur le

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTON	12
I. LE CONE BEAM	13
1. COMMENT FONCTIONNE UN CONE BEAM ?	13
2. CARACTERISTIQUE DE L'IMAGE CBCT.....	13
3. LES DIFFERENTES INDICATIONS DU CONE BEAM EN ODONTOLOGIE	14
a) Endodontie	14
b) Parodontologie.....	15
c) Implantologie et chirurgie orale.....	15
d) Orthodontie.....	16
e) Occlusodontie.....	16
f) ORL.....	17
II. LOGICIELS UTILISES	17
1. 3D SLICER	17
a) Présentation du logiciel 3D Slicer	17
b) Comment fonctionne-t-il ?	17
c) Fiche explicative segmentation et simplification d'une pièce 3D.....	18
d) Exemple de segmentation : Une hémi mandibule avec par transparence le canal mandibulaire	21
2. LE MERGE CUBE ET L'APPLICATION MERGE OBJECT VIEWER	23
a) Présentation du MERGE cube.....	23
b) Comment fonctionne-t-il ?	23
3. AUTRES SUPPORTS POUVANT AVOIR UNE UTILITE DANS LA PEDAGOGIE EN ODONTOLOGIE	25
a) Visible body	25
b) Simodont®.....	26
III. QU'EST-CE QUE LA REALITE AUGMENTEE ET LA REALITE VIRTUELLE	27
1. LA REALITE AUGMENTEE	27
a) Principe.....	27
b) La réalité augmentée appliquée à l'apprentissage de la dentisterie opératoire	29
2. LA REALITE VIRTUELLE	31
a) Définition.....	31
b) Principe.....	31
c) Les limites de la réalité virtuelle dans l'enseignement de nos jours.....	32
IV. COMMENT APPLIQUER LA REALITE AUGMENTEE ET LA REALITE VIRTUELLE A L'APPRENTISSAGE EN ODONTOLOGIE	33
1. DANS LA COMPREHENSION DE L'ANATOMIE CERVICO-CEPHALIQUE ET DENTAIRE	33
a) Vision dans l'espace	33
b) Colorisation	33
c) Appréhension des rapports	33
d) Quelle méthode semble la plus appropriée (VR ou RA) à la compréhension de l'anatomie cervico céphalique et dentaire ?	34

2.	APPORT DE LA RA ET VR DANS L'ENSEIGNEMENT PRE CLINIQUE	34
	CLINIQUE	34
a)	<i>Exemple de l'anesthésie au foramen mandibulaire</i>	34
b)	<i>Quelle méthode semble la plus appropriée dans l'enseignement pré clinique ?</i>	36
3.	QUESTION DE LA REDUCTION DES COUTS DE L'ENSEIGNEMENT DENTAIRE ? LA RA ET LA VR SONT-ELLES DES BONNES SOLUTIONS ?	36
V.	QU'EN EST-IL DE LA FORMATION EN ANATOMIE CERVICO-CEPHALIQUE ET DENTAIRE DE NOS JOURS..	37
1.	LES MOYENS A DISPOSITION EN ANATOMIE CERVICO CEPHALIQUE ET EN ANATOMIE DENTAIRE.....	37
2.	CREATION D'UN QUESTIONNAIRE POUR EVALUER LA SATISFACTION DES ELEVES DE 2EME ANNEE FACE A UN PREMIER TD UTILISANT LA REALITE AUGMENTEE.....	37
a)	<i>Le déroulement du TD</i>	37
b)	<i>Le questionnaire</i>	38
c)	<i>Les résultats</i>	39
d)	<i>Les améliorations à apporter selon les élèves</i>	41
VI.	COMPARAISON DE DEUX METHODES D'ENSEIGNEMENTS EN ANATOMIE CERVICO CEPHALIQUE ET ANATOMIE DENTAIRE	41
1.	MATERIEL ET METHODE	41
a)	<i>Cours d'anatomie dentaire du 22 novembre 2019</i>	42
b)	<i>Cours d'anatomie cervico céphalique du 26 novembre 2019</i>	42
2.	COURS D'ANATOMIE CERVICO CEPHALIQUE DU 26 NOVEMBRE 2019 : DIFFUSION DES PROCESSUS INFECTIEUX AU NIVEAU DE LA TETE ET DU COUP	43
a)	<i>Contenu</i>	43
b)	<i>Modèle d'évaluation</i>	45
3.	COURS D'ANATOMIE DENTAIRE DU 22 NOVEMBRE 2019 : L'ANATOMIE ENDODONTIQUE	45
a)	<i>Contenu</i>	45
b)	<i>Modèle d'évaluation</i>	48
4.	RESULTATS	48
a)	<i>Résultats des questions à choix multiples sur le cours d'anatomie endodontique</i>	48
b)	<i>Résultats de l'évaluation en anatomie cervico céphalique</i>	48
	CONCLUSION	49
	BIBLIOGRAPHIE	50
	TABLEAU DES ILLUSTRATIONS :	53

INTRODUCTON

La réalité augmentée est de plus en plus présente dans notre quotidien. On la retrouve dans nos jeux vidéo, dans nos voitures, mais aussi dans la formation dans d'autres corps de métiers (aéronautique par exemple). Nous avons donc décidé de tenter de mettre cette technologie au service de la pédagogie dans l'enseignement de deux matières anatomiques que sont : L'anatomie cervico céphalique et l'anatomie dentaire.

Ces deux matières requièrent, de la part de l'étudiant, une maîtrise de la visualisation dans l'espace, pour permettre de mieux appréhender les rapport entre les différentes structures anatomiques.

Nous avons décidé de tester la réalité augmentée comme support pédagogique dans l'enseignement des deux matières citées plus haut. L'objectif de cette thèse est de savoir si la réalité augmentée comme support pédagogique apporte une amélioration dans l'apprentissage de l'anatomie cervico céphalique, et si il encourage son apprentissage.

Pour tester la réalité augmentée comme support pédagogique nous avons décidé de l'opposer à des cours dispensés de manière classique, comme les font les maitres de conférences à l'heure actuelle.

Afin de répondre à cet objectif nous avons décidé de réaliser une étude comparative entre des cours avec utilisation de la réalité augmentée et des cours en méthode classique. Ces cours ont été donnés à la faculté de chirurgie dentaire de Toulouse les 22 et 26 novembre 2019.

La première partie de cette thèse s'intéresse au cone beam, aux logiciels nécessaires à la mise en place de la réalité augmentée, à la description de la réalité augmentée et de la réalité virtuelle et à leurs possibilités d'applications. La dernière partie est dédiée à la description de l'étude réalisée et des résultats obtenus.

I. Le Cone Beam

1. Comment fonctionne un Cone Beam ?

Le cone beam est composé d'un générateur de rayons X continu ou pulsé qui émet un faisceau divergent pyramidal ou conique qui va traverser l'objet à explorer. Ce faisceau est dirigé vers le milieu de la région d'intérêt. Une fois que le faisceau a traversé la zone d'intérêt, il se retrouve alors atténué, c'est à ce moment qu'il est analysé par un détecteur numérique de zone.

Le tube à rayons X et le détecteur à écran plat sont alignés et se situent de part et d'autre du portique qui tourne autour du patient en une seule rotation partielle ou complète (180° à 360°), permettant d'acquérir les données numériques en volume de données. A la fin de l'acquisition, des algorithmes traitent les données numériques et permettent la reconstruction d'un volume.

Suivant les cone beam le patient peut être debout, assis ou couché, mais c'est le plus souvent la position debout qui est retrouvée [1].

Les constantes paramétrables sur un cone beam sont variables et dépendent des caractéristiques du patient, des besoins cliniques et de la résolution spatiale souhaitée [2]. Le champ de vision varie de 4x4cm pour une mâchoire à 30x30 cm pour une imagerie cranio faciale complète. La tension du tube varie de 40kV à 120kV (les valeurs les plus retrouvées sont comprises entre 60 et 90 kV). Le courant du tube varie de 1 à 32 mA. Le temps d'exposition et de balayage varie quant à lui de 1 à 40 secondes. [3,4].

Ce sont la taille et la forme du détecteur, la géométrie de projection du faisceau et la capacité de colimater le faisceau qui déterminent la taille et la forme du champ de vision. [4] Le temps nécessaire à l'acquisition du volume dépend des CBCT, selon le nombre d'images de projection ou la vitesse à laquelle elles sont acquises [4].

2. Caractéristique de l'image CBCT

La résolution spatiale (netteté) est la capacité de capturer les détails les plus fins de l'image [5]. Le voxel est l'unité de volume [6,7], et la résolution spatiale est liée à la taille du voxel. Dans un CBCT, les voxels sont le plus souvent cubiques et les coupes transversales doivent avoir la même résolution spatiales quelle que soit leur orientation, ce qui permettra par la suite une post-reconstruction des coupes curvilignes et des mesures fiables [3]. La résolution spatiale nominale est la résolution qui résulte directement des propriétés physiques de l'appareil de

radiologie et qui peut être déduite de la taille du voxel et du point focal [3]. Les machines avec un petit champ de vision ont actuellement les résolutions spatiales les plus élevées et les machines utilisant des tailles de voxels plus petites devraient fournir des images plus précises des structures fines que les machines utilisant des tailles de voxels plus importantes [6,8,9]. La diminution de la taille des voxels permet une augmentation de la précision mais augmentent le risque de bruit du au mouvement du patients. Il est important de noter que l'augmentation du temps de balayage augmentent le risque de mouvements indésirables du patient et ainsi augmentent le risque de bruit dans l'image[10].

La résolution spatiale est également affectée par l'effet de volume partiel, qui a des répercussions sur la qualité de l'image [5,11]. Plus l'objet est petit, plus il est difficile de le distinguer de l'arrière-plan, en particulier si le contraste est faible. Lorsque la taille d'une structure est inférieure à la taille du voxel, le voxel affiche une valeur moyenne entre la structure et les tissus environnants. La structure anatomique peut «disparaître» (par exemple au sein de l'os ethmoïde) et les transitions entre les régions peuvent apparaître floues et progressives au lieu de nettes et brusques [5,12]

Le cone beam est une outil radiologique permettant l'observation de nombreuse structure anatomique de la tête et du cou. Cet outil peut être un outil diagnostique dans de nombreuses disciplines cliniques(cariologie, endodontie, parodontologie, implantologie et chirurgie orale, chirurgie maxillo faciale, orthodontie, ORL ou encore occlusodontie). Mais il peut aussi être un formidable outil pédagogique et fournir des images que nous allons pouvoir exploiter à travers la réalité augmentée à des fins pédagogiques.

3. Les différentes indications du Cone Beam en odontologie

a) Endodontie

Le CBCT devient la norme dans de nombreux cas en endodontie. Dans le cas de signes cliniques contradictoires, le CBCT peut être une imagerie de choix dans la mise en place d'un diagnostic. Certaines radioclarités indolores deviennent visibles sur une image 3D d'un cone beam. Même des CBCT petit champ, donnent de bons résultats, et permettent la découverte de radioclarités non objectivables avec un examen radiologique conventionnel. De nombreux auteurs ont trouvés 20 à 40% de radioclarités en plus sur les images CBCT par rapport aux radiographies traditionnelles [13, 14, 15].

Dans les cas de traumatismes, c'est la gravité des traumatismes faciaux ou dentaires qui déterminent le besoin d'une imagerie CBCT [16]. Les CBCT révèlent

les fractures alvéolaires et radiculaires et vont être utiles pour repositionner les os et les dents. Le CBCT va permettre aussi d'apprécier le rapport couronne racine dans l'évaluation de la restaurabilité de la dent. Le CBCT va permettre l'identification des canaux calcifiés ou manquants (lors d'un retraitement endodontique par exemple) lors d'un traitement endodontique.

Lors de la planification d'un retraitement endodontique, le CBCT peut permettre d'objectiver des facteurs pronostics négatifs pouvant modifier le plan de traitement et conduire à l'extraction (Fracture de la racine, résorptions, perforations par exemple). Lors de cette planification on peut mettre en lumière d'autres radioclarités, la présence d'autres canaux, ou la présence d'instruments [17].

Sur les radiographies périapicales, le diamètre des radioclarités est inférieur à celui enregistré sur une image CBCT [18], de plus les différents plans de coupes permettent d'objectiver les défauts osseux résultants [19]

Les mesures CBCT peuvent éviter les accidents iatrogènes, aider à maintenir l'accès chirurgical endodontique aussi petit que possible, et identifier la taille et l'emplacement des lésions et des structures anatomiques vulnérables telles que le sinus maxillaire, le foramen mental et le canal mandibulaire [17,20,21].

L'interprétation CBCT pour la cicatrisation des lésions périapicales après microchirurgie endodontique est plus précise que le suivi par radio périapicale [22].

b) Parodontologie

Le CBCT peut être utile dans le diagnostic des maladies parodontales et la planification des traitements parodontaux [23,24]. Selon Scarfe et al., Les protocoles avec un champ de vision limité et une haute résolution sont indiqués pour une vue précise de la morphologie et de la topographie des défauts localisés, tels que l'atteinte de la furcation et les défauts intra osseux verticaux et horizontaux. La détermination de la topographie osseuse permet d'évaluer les effets de la thérapie régénératrice à envisager. L'acquisition CBCT peut contribuer à la décision clinique et à améliorer l'efficacité clinique [23].

c) Implantologie et chirurgie orale

Le CBCT fait maintenant partie du processus éducatif et il a remplacé la radiographie panoramique dans la planification et le diagnostic lors des traitements chirurgicaux dans les cabinets privés [25]. Le CBCT est indiqué en médecine

buccale, en chirurgie orthodontique et orthognatique [26], pour les traumatismes, la planification de la chirurgie reconstructive et pour les applications dentaires (dents impactées et implants dentaires par exemple). Le CBCT peut être indiqué pour les infections, la pathologie des glandes salivaires, les douleurs faciales ou l'ATM [25].

L'imagerie CBCT pour les patients nécessitant des implants dentaires est potentiellement utile pour :

- le diagnostic et l'évaluation des résultats du traitement
- la planification du traitement implantaire
- la caractérisation anatomique [27]

L'utilisation du CBCT postopératoire doit être limitée à des complications spécifiques, telles que les infections postopératoires liées au sinus maxillaire ou les atteintes des structures neurovasculaires [28]

d) Orthodontie

CBCT est un outil efficace pour le diagnostic et la planification du traitement de nombreuses situations complexes d'orthodontie clinique, par exemple dans la croissance faciale, les troubles de l'éruption dentaire ou les dents incluses, la fente labiale, la fente palatine et les anomalies squelettiques, et en chirurgie orthognathique ou craniofaciale [29,30]. Les analyses céphalométriques volumétriques 3D et l'intégration de photographies de surface (2D ou 3D) avec CBCT ouvrent la voie à une analyse avancée, à la planification du traitement et à des simulations prédictives assistées par ordinateur, et à une meilleure évaluation des modifications des tissus mous après la superposition des examens avant et après traitement [30].

e) Occlusodontie

Les critères diagnostiques de recherche pour les troubles temporomandibulaires ont recommandé la tomodensitométrie comme modalité de choix pour l'évaluation des modifications osseuses de l'ATM [31]. Les surfaces osseuses peuvent être explorées dans toutes les dimensions pour identifier les changements pathologiques tels que l'érosion corticale, la sclérose sous-chondrale, l'aplatissement, les ostéophytes et les kystes sous-chondraux [32]. Associé au CBCT, l'IRM est la référence en matière d'imagerie des composants des tissus mous intra-articulaires de l'ATM [31]. La fusion en volume des acquisitions d'IRM et de CBCT par enregistrement peut apporter une valeur clinique significative [33].

f) ORL

Les examens CBCT peuvent remplacer MDCT (Multiple detector computed tomography) dans certaines tâches d'oto-rhino-laryngologie. Le CBCT être utilisé pour explorer qualitativement et quantitativement les voies aériennes pharyngées supérieures, la présence et la gravité de l'apnée obstructive du sommeil [34,35]. Par exemple, il peut aider à identifier les facteurs de risque et / ou à prédire les résultats du traitement (par exemple, découverte de restrictions du secteur aéropharyngé, hypertrophie adénotonsillaire, cloison nasale déviée, hypertrophie turbinée). Les examens CBCT haute résolution permettent d'évaluer précisément les structures fines de l'oreille interne et moyenne et de la base crânienne. Par exemple, la taille et la forme de la cochlée ou la position postopératoire d'un réseau d'électrodes intra-cochléaires peuvent être explorées, la chaîne ossiculaire, les sites d'otospongiose, la plupart des malformations et dysplasies, les lésions traumatiques ou les otites chroniques [36]. Étant donné que le niveau de rayonnement est inférieur à celui de la TDM conventionnelle, le CBCT est idéal pour les examens répétés, le suivi postopératoire et l'exploration pédiatrique [36].

II. Logiciels utilisés

1. 3D slicer

a) Présentation du logiciel 3D Slicer

3D slicer est un logiciel de tranchage 3D. Il permet, à partir de fichiers DICOM, de segmenter des parties qui pourront par la suite être imprimées en 3D ou tout simplement utilisées en tant que telles pour une visualisation d'un élément anatomique en particulier.

b) Comment fonctionne-t-il ?

Dans le cadre de cette thèse j'ai réalisé une fiche explicative d'une méthode simple de segmentation dans ce logiciel (Annexe 1). De nombreuses fonctions accessibles permettent de segmenter une pièce anatomique. En revanche ce logiciel ne permet pas d'isoler facilement une dent dans de l'os via la technique décrite. Cette technique permet par exemple d'isoler la mandibule du reste du crâne, d'isoler de cette mandibule l'articulation temporo mandibulaire ou encore d'isoler la base d'un crane.

Dans le cadre de ma thèse ce logiciel m'a permis de segmenter des pièces anatomiques potentiellement utilisables en réalité augmentée via le MERGE cube et l'application MERGE Object Viewer.

c) Fiche explicative segmentation et simplification d'une pièce 3D

Pour intégrer des pièces 3D à notre application de réalité augmentée, il faut préalablement segmenter les pièces anatomiques désirées. On peut isoler ces pièces anatomiques à partir d'un Cone Beam par exemple. Cette segmentation et simplification de la pièce anatomique va être importante pour analyser seulement ce que l'on désire voir mais aussi car l'application que l'on va utiliser pour projeter les pièces 3D ne supporte pas les fichiers trop lourds.

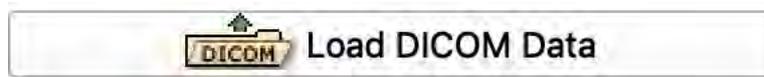
Fiche utilisation 3D Slicer : Comment segmenter et simplifier une pièce 3D

Avec l'aide du tutoriel de la NA-MIC (National Alliance for Medical Image Computing) tutorial contest: Winter 2017 et mon expérience sur le logiciel.

1) Prérequis :

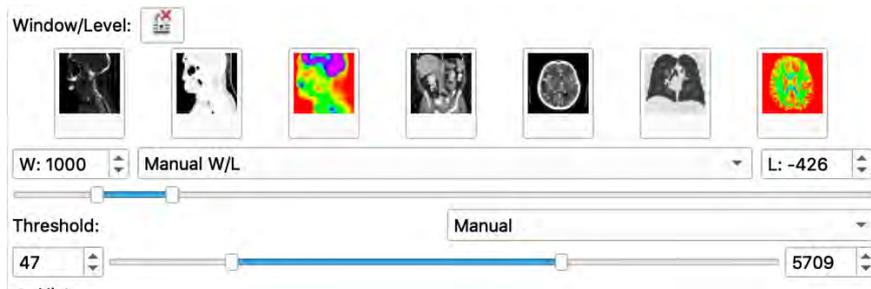
- Windows 64bit, Mac OSX ou Linux 64bit ou 32bit
- Minimum 2GB de RAM
- 64bit fortement recommandé

2) Chargement du fichier DICOM



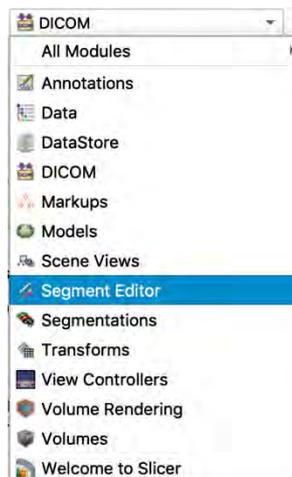
3) Changer le contraste pour une meilleure visibilité

- Aller dans la barre de recherche en haut à gauche
- Choisir Volume  **Volumes**
- Choisir le meilleur contraste dans « Window/Level»

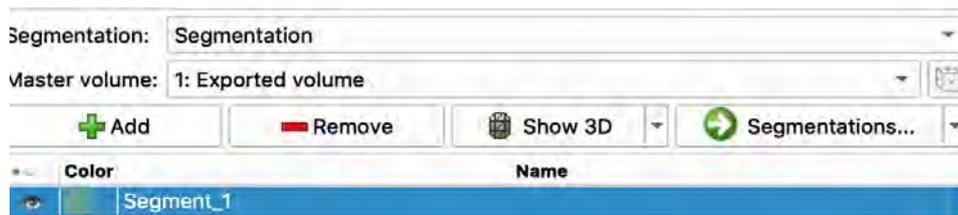


4) Segmenter le volume

- Basculer sur « Segment Editor » dans la barre de recherche en haut à gauche

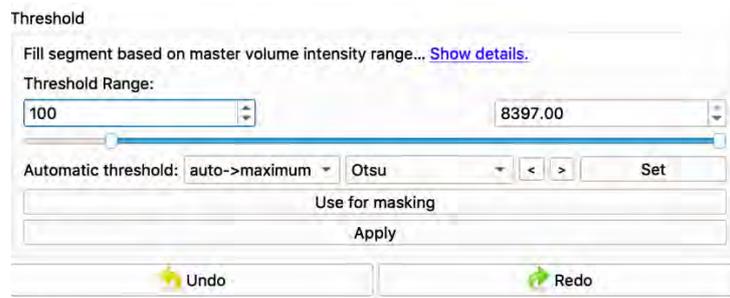


- Cliquer sur « Add »

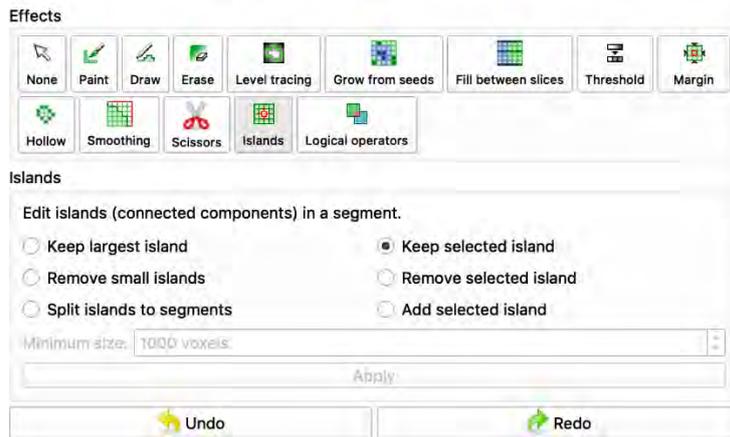


- Cliquer sur l'icône « Threshold » et régler le range à 100 pour n'avoir que l'os et cliquer sur « Apply »

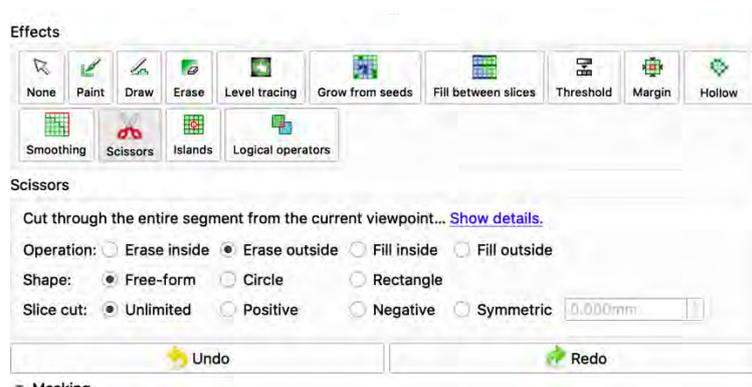




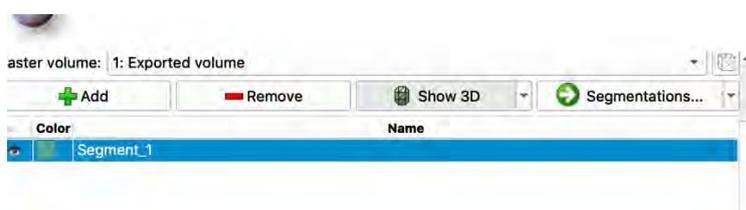
- Cliquer sur l'icône « Islands » pour supprimer les tavelures



- Cliquer sur la pièce à segmenter
- Cliquer sur « scissors », choisissez « Erase outside » dans opération et choisissez « Free-form » dans Shape



- Sur la coupe coronale découper la partie à segmenter
- Cliquer sur « Show 3D » pour afficher la pièce segmentée en 3D



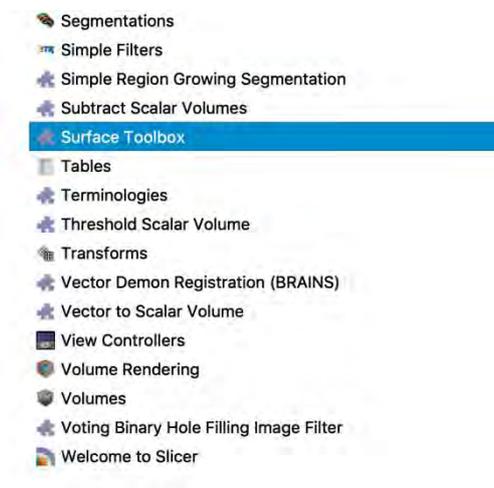
- Éliminer les structures restantes dont on ne se servira pas avec « Scissors » en faisant varier « Outside » et « Inside »

Une fois ces étapes réalisées, la pièce est segmentée.

La segmentation via cette technique est adaptée aux pièces anatomiques peu complexes.

Cependant le fichier reste lourd et pour l'intégrer à notre application de réalité augmentée ; il faut le simplifier.

- Cliquer sur « Surface Toolbox » dans la liste des modules



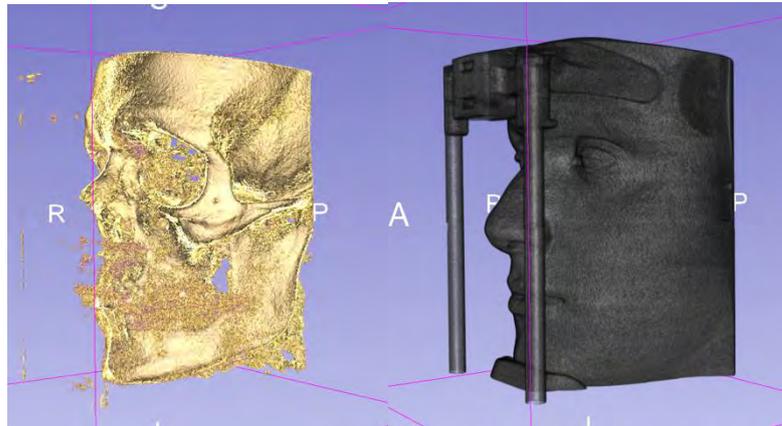
- Ensuite utiliser l'outil « Decimation » pour simplifier la pièce 3D préalablement segmentée



d) Exemple de segmentation : Une hémi mandibule avec par transparence le canal mandibulaire

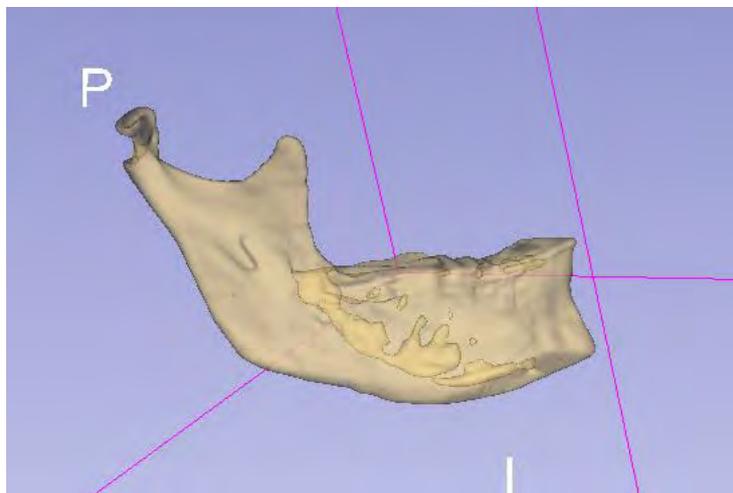
Dans le cadre de cette thèse, le choix a été fait de segmenter dans un premier temps une mandibule à partir d'un crane complet. L'acquisition de ce crane a été réalisé à la faculté de chirurgie dentaire à l'aide du Cone Beam Carestream CS 9600 présent coté hospitalier.

Voici quelques vues de la pièce anatomique dans son intégralité :



Représentation 3D du fichier DICOM de l'ensemble du crane sans les tissus mous et avec les tissus mous

Voici la vue finale en 3D de la segmentation et simplification de l'hémimandibule du patient :



Hémi mandibule avec en transparence le canal mandibulaire

On observe que cette technique est utile pour la segmentation de pièces osseuses dont la corticale possède un volume et une densité suffisamment importantes pour ne pas disparaître lors du seuillage. D'autres méthodes de segmentation pourraient être utilisées afin d'améliorer le rendu de ces pièces anatomiques. L'algorithme du Watershed permettrait par exemple cela (voir article

Delphine maret, antoine galibourg sur pubmed), mais il ne semble pas disponible sur 3D slicer.

2. Le MERGE cube et l'application MERGE Object viewer

a) Présentation du MERGE cube

Le Merge cube est un cube sur lequel les 6 faces présentent des motifs différents permettant de superposer un modèle numérique 3D via des applications adaptées (dans le cadre de ma thèse j'ai utilisé l'application Merge Object viewer). Le cube est disponible à l'achat sur internet mais peut aussi être fabriqué en papier ou carton via un patron qui est téléchargeable sur internet. Il est stipulé que la superposition 3D est de moins bonne qualité avec le cube en papier mais l'expérience reste tout de même très intéressante.



Merge cube disponible dans le commerce

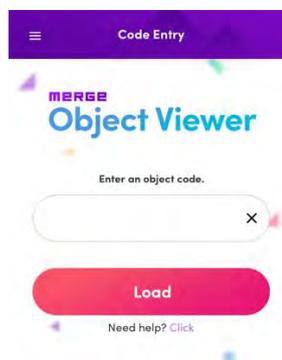
b) Comment fonctionne-t-il ?

Le Merge cube ne peut fonctionner qu'avec une application compatible. Dans le cadre de cette thèse nous avons utilisé l'application Merge Object Viewer. Via cette application l'utilisateur va pouvoir voir différentes pièces 3D en réalité augmentée via son smartphone. Pour pouvoir utiliser cette application il faut dans un premier temps la télécharger, celle-ci est disponible sur Apple et Android.



Object viewer for Merge cube dans l'apple store

Une fois l'application Merge Object Viewer téléchargée, il suffit d'entrer un code correspondant à un élément que l'on veut visualiser en réalité augmentée et pointer la camera de son smartphone en direction du Merge cube. A ce moment-là, la pièce anatomique va apparaitre en réalité augmentée sur l'écran du smartphone.



Capture d'écran de l'application

Une fois la pièce 3D affichée il est possible d'interagir avec elle, s'en approcher, s'en éloigner, l'agrandir et la faire tourner par exemple.



Capture d'écran de l'application avec mandibule en réalité augmentée

3. Autres supports pouvant avoir une utilité dans la pédagogie en odontologie

a) Visible body

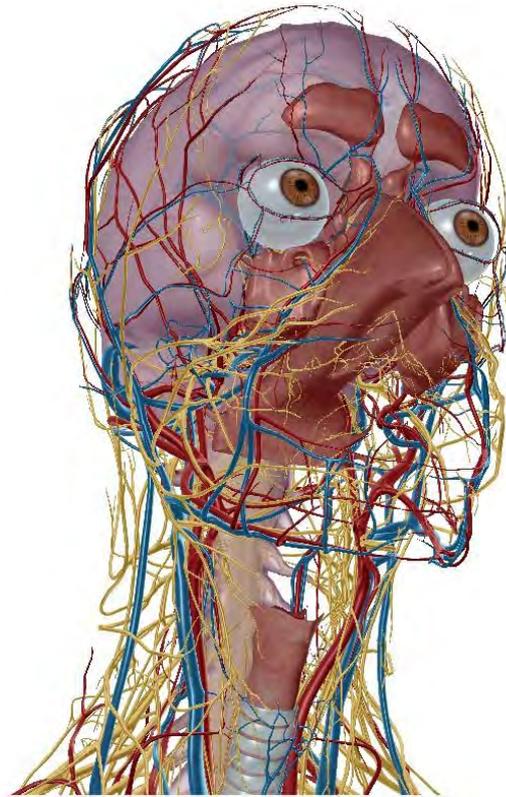
Visible Body est une application donnant accès à un atlas permettant la visualisation du corps humain en 3D. Le logiciel contient plus de 4000 structures anatomiques et permet d'explorer les différents systèmes du corps humain (osseux, nerveux, vasculaire, artériel, lymphatique). Ce logiciel est bien adapté aux étudiants s'intéressant à la visualisation de l'anatomie dans l'espace. En revanche l'application ne permet pas pour l'instant d'utiliser la réalité augmentée.

Ce logiciel est intéressant pour l'étude de l'anatomie cervico céphalique, discipline présente durant les 3 premières années du cursus d'odontologie.

J'ai utilisé ce logiciel durant ma première année commune aux études de santé, afin de mieux me repérer dans l'espace et comprendre les rapports entre les différents éléments anatomiques. Ce logiciel m'a énormément aidé du fait de sa précision et du nombre assez conséquent d'éléments que l'on peut isoler. La prise en main du logiciel est facile et chaque élément peut être isolé.

Ce logiciel est très détaillé et très précis, mais il n'a pas le côté ludique que peut avoir la réalité augmentée. De plus, même si la 3D est très bien simulé, il n'y a

pas la sensation de profondeur que peu procurer la réalité augmentée. La « balade » entre les différents organes est moins interactive que via la réalité augmentée.



Capture d'écran du logiciel Visible body montrant le réseau artériel, veineux et nerveux de la tête et du cou

b) Simodont®

Simodont est un simulateur ayant vu le jour en 2010 au congrès de l'ADEE (Association for Dental Education in Europe). C'est un simulateur qui permet aux étudiants d'acquérir les bases dans la préparation de cavités en odontologie.

Ce simulateur est composé de mini projecteurs et d'un ordinateur qui diffusent une scène de travail en 3D. La vision 3D par l'élève est rendu possible par le port de lunettes 3D. Le simulateur est aussi composé d'un contre angle et d'un miroir qui permettent une simulation assez immersive. Le contre angle est équipé d'un système à retour de force permettant à l'utilisateur de ressentir l'appui par exemple lors d'une préparation cavitaire.

Simodont est particulièrement utile dans la phase pré clinique de nos études d'odontologie. Il permet de s'entraîner à la préparation cavitaire sans utiliser de modèles réels.

Ce simulateur est implanté dans de nombreuses facultés à travers le monde et notamment à la faculté de Toulouse, où un exemplaire est présent. La faculté

d'Amsterdam, elle, compte plus de 40 simulateurs utilisés lors de l'enseignement pré clinique.

Ce simulateur permet de nos jours :

- De valider les compétences psychomotrices et la dextérité des étudiants dans différentes situations cliniques
- De réaliser un diagnostic suivi d'un plan de traitement dans différents cas cliniques
- De réaliser différentes préparations cavitaires en dentisterie restauratrice
- D'être utilisé en tant que droitier et en tant que gaucher

III. Qu'est-ce que la réalité augmentée et la réalité virtuelle

1. La réalité augmentée

La réalité augmentée (ou RA) est une technologie permettant d'intégrer des objets en 3D (en temps réel) dans un environnement réel. Le principe est de mélanger virtuel et réel pour donner une illusion parfaite de l'intégration de cet objet dans l'espace.

L'exemple le plus connu de réalité virtuelle est l'application Pokemon GO, utilisée par de nombreuses personnes à travers le monde.

a) Principe

La réalité augmentée est basée sur un système d'accroche. Il faut qu'il y ai une image qui permette au logiciel de RA de superposer l'image 3D. Une fois que le logiciel a repéré plusieurs points de cette image il est capable de superposer l'image que l'on veut afficher en réalité virtuelle. C'est à ce moment que l'image apparait comme confondu au paysage réel.

La réalité augmentée ne peut être dissociée d'une interface de visualisation. Cette interface va permettre à l'utilisateur de voir l'image 3D dans le monde qui l'entoure en temps réel.

En réalité augmentée il y a deux interfaces possibles :

- L'œil voit la scène (réalité + image 3D projetée) à travers un écran (Tablette, smartphone, casque de RA). L'œil ne voit donc pas directement la scène, celle-ci passe par un écran.



Réalité augmentée dans l'application Pokemon GO via un écran de smartphone

- L'œil voit la scène directement sans interface, les images superposées sont projetées directement dans le champ de vision de l'utilisateur (Exemple s: Lunettes Google Glasses, pare-brise de voiture, casques de pilote de chasse)



Exemple de lunettes projetant l'information dans le champ de vision de l'utilisateur

Dans le cadre de cette thèse et via l'utilisation du Merge cube et de l'application Object Viewer c'est la première solution de réalité augmentée qui a été utilisée, c'est-à-dire qu'un support est nécessaire à la visualisation des images en 3D superposées au paysage réel.

b) La réalité augmentée appliquée à l'apprentissage de la dentisterie opératoire

La réalité augmentée fonctionne donc sur le réel au contraire de la réalité virtuelle qui travaille sur des images de synthèse.

Le but principal de l'apprentissage de de la dentisterie opératoire est de préparer de façon efficace l'étudiant à la pratique clinique sur un patient. De nos jours les universités utilisent divers moyens pour préparer au mieux les étudiants à cette pratique clinique. Parmi ces moyens nous pouvons citer : Les conférences, les schémas, les supports multimédias et les vidéos par exemple.

Il existe de nombreuses technologies qui permettent de transmettre des connaissances et faciliter l'acquisition des compétences. Ces nouvelles technologie ont en plus l'avantage d'être attrayantes pour les nouvelles générations d'étudiants. La réalité augmentée fait partie de ces nouvelles technologies permettant d'envisager une nouvelle façon de voir l'enseignement en odontologie, qu'il soit purement théorique mais aussi pré clinique.

Dans une étude réalisée à l'université de Valence en 2017, il a été comparé l'apport de la RA pour la préparation de cavité lors des traitements des caries de type I et II. L'objectif de cette étude est de comparer les méthodes conventionnelles de transmissions de compétences aux étudiants avec une méthodes utilisant la RA. Il a aussi été testé la satisfaction dans des étudiants vis-à-vis de cette nouvelle technologie. L'hypothèse nulle est que la RA fonctionne de façon semblable aux méthodes conventionnelles en ce qui concerne l'acquisition de connaissances et de compétences par les étudiants[37].

Pour réaliser cette étude il a fallu créer des modèles physiques et des modèles virtuels. Les modèles physiques ont été réalisé sur deux premières molaires mandibulaires, l'une avec une cavité de classe I et l'autre avec une cavité de classe II (Occluso distale). Les modèles virtuels ont quant à eux été créés à partir des modèles physiques . Les dents en résines ont été opacifié avec un spray pour camera optique intra-buccale avant d'être scannée via un système CAO (Scanner Ceratomic DS900). Une grille de point a été obtenue et triangulée pour obtenir des objets tridimensionnels qui ont ensuite été exportés vers des fichiers au format STL puis converti en fichier type .dae à l'aide de Google SketchUp 8 pour permettre la reconnaissance par le logiciel de RA.

Les critères d'inclusion appliqués dans cette étude sont : Les étudiants doivent appréhender pour la première fois le sujet de la dentisterie opératoire, ils ne doivent avoir aucune expérience préalable pour la préparation de cavités dans le traitement de la carie et ils ne doivent avoir aucune expérience préalable dans l'utilisation de la RA.

La population étudiée était composée de tous les étudiants de troisième année en odontologie de l'université de Valence. Deux groupes ont été créés : Un groupe expérimental et un groupe témoin. Le groupe expérimental RA était composé de 21 étudiants et le groupe témoin de 21 étudiants.

Plusieurs enquêteurs ont été désignés et aveuglés pour ceux qui allaient réaliser l'évaluations des compétences et des connaissances.

Pour l'évaluation des connaissances théoriques acquises, tous les étudiants ont rempli un questionnaire avant, après chaque pratique, et a 6 mois. Ce questionnaire évaluait 10 concepts théoriques.

Pour l'évaluation des compétences acquises, un professeur a évalué les cavités réalisées en fonction de nombreux critères

Pour l'évaluation de la satisfaction, un questionnaire de 11 questions a été utilisé pour évaluer la satisfaction de l'étudiant vis-à-vis de la technique de RA et pour évaluer si celle-ci est facile d'utilisation. Les étudiants ont noté chaque question de 1 à 5 (échelle de Likert modifiée).

Le test U de Mann-Whitney, le test de Wilcoxon et le coefficient α de Cronbach ont été utilisés pour tester statistiquement les différences dans les différents questionnaires.

Pour ce qui est des connaissances acquises il n'y a eu aucune différence significative entre les deux groupes durant toute l'étude.

Pour ce qui est des compétences acquises, les résultats se sont avérés meilleurs dans le groupe RA mais ne sont pas statistiquement différents. Cette signification statistique n'ayant été enregistrée que dans peu d'aspect de la préparation cavitaire.

Pour ce qui est de la satisfaction, l'expérience a été jugée de favorable ou très favorable par 100% des participants. De manière générale les étudiants ont préféré utiliser l'ordinateur a 60%.

En conclusion, même si les résultats ne sont pas statistiquement significatifs, on note que l'utilisation de la RA est bien accueillit et qu'elle n'est pas une moins bonne solution que la pédagogie classique. De plus l'accueil de cette technologie par les étudiants dans cette étude est un point positif quant à la diffusion à grande échelle.

2. La réalité virtuelle

a) Définition

La réalité virtuelle est une technologie informatique qui permet de simuler la présence physique d'un utilisateur dans un environnement artificiellement généré par des logiciels. Son principe est de créer un environnement entièrement fictif, créé de toute pièce par des logiciels. Cet environnement alors créé, l'utilisateur pourra interagir directement avec lui.

C'est dans ce sens que la réalité virtuelle ne doit pas être confondue avec la réalité augmentée qui elle ne crée pas d'environnement fictif, l'utilisateur avec des éléments superposés au monde qui l'entoure.

b) Principe

De nos jours la plus part des système de réalité augmentée sont des casques immersifs (Oculus Rift®, HTC Vive®) de visualisation qui trompent notre cerveau pour lui faire croire que nous évoluons dans un nouvel environnement. Cet environnement a été créé de toute pièce par un logiciel et celui-ci est projeté dans ce casque à taille réelle sans démarcation que nous connaissons sur les écrans de nos téléviseurs ou de nos écrans d'ordinateurs.

Les principaux éléments d'un casque VR sont :

- Un écran qui projette des images remplissant le champ de vision de l'utilisateur. Cet écran est suppléé de lentilles permettant de voir cet écran a une bonne distance même si celui-ci se trouve proche de nos yeux. Ce système permettant de réduire l'encombrement du casque.
- Un câble USB pour communiquer avec un PC
- Un câble pour acheminer l'image dans le casque, le plus souvent HDMI
- Un câble d'alimentation

Il est important de noter que des casques plus simples existent. Ils fonctionnent en fixant un smartphone à l'intérieur. Ces casques n'ont pas besoin d'alimentation.



HTC Vive®



Oculus Rift®



Casque de RV avec smartphone

c) Les limites de la réalité virtuelle dans l'enseignement de nos jours

La réalité virtuelle nécessite l'utilisation de masques permettant de mettre en immersion l'étudiant dans un monde créé de toute pièce. Pour pouvoir proposer cette technologie à un quart de promotion par exemple (TD en quart de promotion), il faudrait une vingtaine de casque disponible. Mais cela n'est pas tout, il faudrait arriver à synchroniser ces vingt casques sur les mêmes images, ce qui est pour l'heure très difficile. La réalité n'est donc pour l'instant pas l'option de choix, c'est pourquoi nous avons choisi la réalité augmentée comme support pédagogique lors de cette étude.

IV. Comment appliquer la réalité augmentée et la réalité virtuelle à l'apprentissage en odontologie

1. Dans la compréhension de l'anatomie cervico-céphalique et dentaire

a) Vision dans l'espace

Ce qui ressort souvent dans la difficulté à l'apprentissage de l'anatomie en odontologie est la difficulté à se repérer dans l'espace. Cette constatation est vraie dans l'apprentissage de l'anatomie mais aussi dans l'apprentissage des gestes techniques (Anesthésie au foramen mandibulaire, Endodontie par exemple) lors de la phase pré clinique des études en odontologie.

La vision des différentes structures anatomiques en réalité augmentée peut permettre à l'étudiant de mieux se repérer dans l'espace car il peut tourner autour de la pièce, rentrer dedans, zoomer. Il peut aussi voir dans l'espace la proximité et les rapports entre deux structures, ce qui est parfois difficile à imaginer à travers les livres d'anatomie.

b) Colorisation

La colorisation, elle, permet de pouvoir isoler différentes structures sur une même pièce. On peut par exemple imaginer que les structures osseuses soient en jaune, les structures artérielles en rouge, les structures veineuses en bleues, les structures lymphatiques en vert foncé et les structures nerveuses en vert clairs.

Grace à ce code couleur l'apprentissage est plus visuel, les rapports entre les différentes structures sont plus clairs, il ne peut pas y avoir de confusion entre ces différentes structures. Tout ceci dans le but d'améliorer la compréhension de l'anatomie et en faciliter son apprentissage.

c) Appréhension des rapports

L'apprentissage de l'anatomie repose essentiellement sur la compréhension des rapports entre les différentes structures qui composent notre corps. Dans les manuels la représentations dans l'espace et parfois difficile du fait de la visualisation 2D que ce support nous apporte. Il est parfois difficile de déterminer si la structure est proche, éloignée, plus grosse ou encore plus petite. La réalité augmentée du fait de la possibilité de se mouvoir autour de la pièce à étudier, peut permettre de mieux appréhender les rapports entre les différentes structures anatomiques.

- d) Quelle méthode semble la plus appropriée (VR ou RA) à la compréhension de l'anatomie cervico céphalique et dentaire ?

Dans l'enseignement actuel la RA augmentée semble la plus appropriée de la simplicité de mise en œuvre de cette technologie. De nos jours beaucoup d'étudiants sont munis d'un smartphone, d'un ordinateur ou bien d'une tablette, leur permettant de visualiser en RA. La VR nécessite quant à elle un investissement plus conséquent, il faut un casque de réalité virtuelle, que celui si soit simple ou plus compliqué c'est un objet que tous les étudiants ne possèdent pas. Ce serait donc un achat supplémentaire.

2. Apport de la RA et VR dans l'enseignement pré clinique

- a) Exemple de l'anesthésie au foramen mandibulaire

L'anesthésie au foramen mandibulaire est une anesthésie loco régionale qui permet, si elle est bien réalisée, d'obtenir un silence opératoire de qualité dans la région des molaires mandibulaires. C'est un geste qui nécessite une bonne connaissance de l'anatomie de la face interne de la branche montante de la mandibule, car le but est d'aller anesthésier le nerf alvéolaire inférieur au moment où il pénètre dans la mandibule au niveau de la lingula.

Ce geste est un geste précis, qui nécessite de l'entraînement pour être bien réalisé. Or, bien souvent les praticiens ont tendance à délaisser cette technique à cause de la survenue de plusieurs échecs et du risque que ce geste comporte.

L'anesthésie au foramen mandibulaire reste pourtant une technique de choix dans de nombreux cas cliniques.

Une étude prospective a été menée en 2016. Cette étude a pour but d'évaluer l'efficacité d'un simulateur en réalité augmentée pour la formation à l'anesthésie loco régionale du bloc alvéolaire inférieur par un étudiant n'ayant jamais réalisé cette anesthésie.

Les participants à cette étude étaient 41 étudiants de 4ème et 5ème années repartis en deux groupes : un groupe témoin avec 19 étudiants et un groupe expérimental avec 22 étudiants. Les deux groupes ont reçu des instructions théoriques et des exercices en cours mais le groupe expérimental a utilisé un simulateur de réalité augmentée mobile dans un cabinet dentaire durant 4 semaines au rythme de deux heures par semaine.

La fréquence cardiaque de tous les étudiants a été mesurée toutes les 5 minutes avant et pendant l'anesthésie. Après l'anesthésie, les étudiants ont rempli un questionnaire post-clinique évaluant les connaissances et compétences. De plus les temps d'anesthésie et les succès anesthésiques ont été relevés.

Le temps moyen d'exécution de l'anesthésie au foramen mandibulaire dans le groupe expérimental était de $50 \pm 14,3$ secondes, alors que le temps moyen du groupe témoin était de $68,4 \pm 25,5$ secondes.

Le taux de réussite de l'anesthésie avait atteint les 90,9% dans le groupe expérimental alors qu'il n'était que de 73,7% dans le groupe témoin.

Les étudiants du groupe témoin ont présenté une augmentation statistiquement significative de leur fréquence cardiaque lors de l'anesthésie.

L'étude conclue que les étudiants qui ont utilisé le simulateur en réalité augmentée ont réalisés des anesthésies au foramen mandibulaire en moins de temps et avec un meilleur taux de succès que ceux ayant été formé avec des méthodes pédagogiques conventionnelles [38].



Capture d'écran de l'élève injectant en réalité augmentée

b) Quelle méthode semble la plus appropriée dans l'enseignement pré clinique ?

Pour un enseignement pré clinique, à l'image de l'enseignement purement théorique, la réalité augmentée semble plus simple à être mise en place. Elle ne nécessite pas l'achat de machine complexe (Exemple Simodont). Elle permet surtout à tous les élèves de travailler en même temps, ce qui paraît compliqué avec la réalité virtuelle puisqu'il faudrait une machine pour chaque étudiant.

3. Question de la réduction des coûts de l'enseignement dentaire ? La RA et la VR sont-elles des bonnes solutions ?

Le coût de la formation est un réel enjeu pour les facultés. Les formations médicales sont des formations qui coûtent beaucoup d'argent et l'optimisation des budgets tout en garantissant un bon niveau de formation est une question récurrente au sein des instances administratives de nos facultés. Pendant de longues années la faculté était gratuite (mise à part les frais de scolarité), mais depuis quelques années la formation devient payante, du fait du coût important du matériel utilisé pendant notre cursus.

Les solutions de réalité augmentée et de réalité virtuelle pourraient être dans le futur des moyens de réduire les coûts de l'enseignement théorique et préclinique dans les facultés de chirurgie dentaire.

Dans un article paru dans la revue Oral Maxillofac Surg Clin North Am en 2019 sur les coûts de l'enseignements dans les écoles dentaires privées et publiques aux Etats unis, il ressort que la réalité virtuelle est un très bon élément pour former les jeunes praticiens tout en évitant l'explosion des coûts d'apprentissage. La réalité virtuelle est un excellent moyen de guider une personne pendant que celle-ci effectue une série de mouvements précis. La réalité virtuelle permet un suivi continu avec une précision submillimétrique de tous les mouvements de la main lors d'un apprentissage pratique. Ce suivi permet à l'ordinateur de fournir un mentorat fort et délibéré. La RV est utilisée depuis des décennies pour dispenser une formation essentielle dans de nombreux domaines (par exemple, les simulateurs de vol ont fourni une formation essentielle aux pilotes avant de piloter des avions très coûteux) [39].

V. Qu'en est-il de la formation en anatomie cervico-céphalique et dentaire de nos jours

1. Les moyens à disposition en anatomie cervico céphalique et en anatomie dentaire

Les cours d'anatomie cervico céphalique et d'anatomie dentaire sont donnés sensiblement de la même façon par différents docteurs travaillant ensemble. Les supports utilisés sont :

- Livres d'anatomie
- Cranes physiques
- Crane réel
- Interaction via l'application Socrative
- Powerpoint
- Photo de dissections
- Modèles 3D
- Vidéos de modèles anatomiques
- Vidéos de dissections
- Schémas sur tablette retransmis au vidéo projecteur
- Lecture d'article
- Td de repérage de structures anatomiques

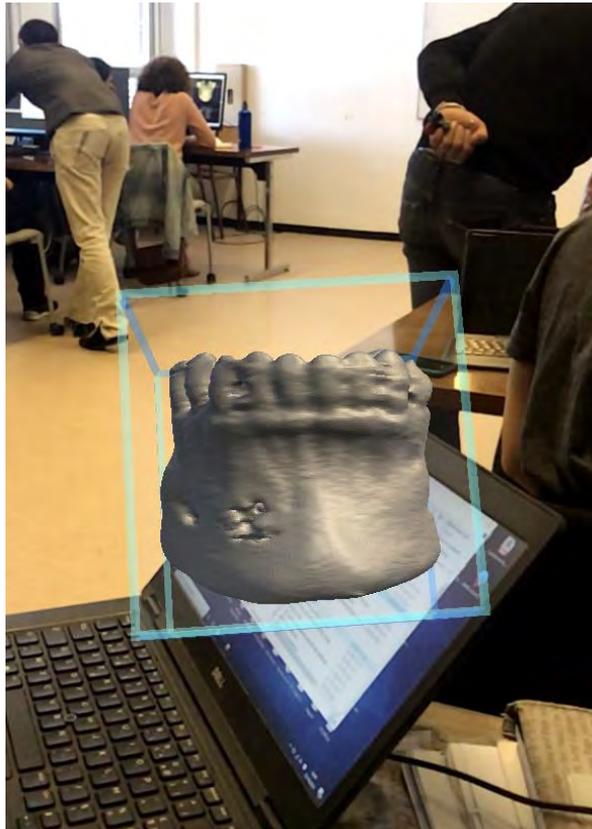
2. Création d'un questionnaire pour évaluer la satisfaction des élèves de 2eme année face à un premier TD utilisant la réalité augmentée.

a) Le déroulement du TD

Mi-octobre, le Docteur Monsarrat a organisé un TD dans le but de familiariser les étudiants à l'utilisation de l'application Merge Object Viewer dans le but de l'intégrer dans un cours à proprement parler plus tard dans le semestre.

Ce premier TD a permis aux étudiants d'appréhender pour la première fois, pour la plupart, la réalité augmentée pour étudier des pièces anatomiques. Ce jour-là, ils ont pu observer la partie antérieure d'une mandibule simplifiée.

Par groupe de 3 à 4 ils ont pu interagir avec la pièce anatomique et nous leur avons distribué un questionnaire de satisfaction pour recueillir leurs premières impressions.



Capture d'écran de la partie antérieure d'une mandibule visualisée en réalité augmentée

b) Le questionnaire

Ce questionnaire a été distribué lors du TD de prise en main de la réalité augmentée, il avait pour but de tester la satisfaction des étudiants quant à un futur cours en réalité augmentée

Il nous a permis aussi de recueillir quelques informations sur les points à améliorer

La réalité augmentée et l'enseignement de l'anatomie cervico-céphalique

Notez votre ressenti de 1 à 6 (Entourez la note de votre choix)

A quel point êtes-vous à l'aise en général avec les nouvelles technologies du numérique ?	1 2 3 4 5 6
Comment avez-vous trouvé l'expérience ?	1 2 3 4 5 6
L'utilisation du cube est-elle, selon vous, intuitive ?	1 2 3 4 5 6
Est-ce que la réalité augmentée vous a permis de mieux visualiser dans l'espace ?	1 2 3 4 5 6
Selon vous, l'expérience apporte-t-elle quelque chose à l'enseignement ?	1 2 3 4 5 6
La pièce étudiée est-elle assez détaillée ?	1 2 3 4 5 6
Aimeriez-vous avoir d'autres cours utilisant la réalité augmentée dans l'avenir ?	1 2 3 4 5 6
Est-ce que la réalité augmentée pourrait devenir une option de choix dans votre façon d'étudier l'anatomie ?	1 2 3 4 5 6

Vos remarques, votre avis :

c) Les résultats

Dans l'ensemble, l'accueil de la réalité augmentée lors de cette première approche a été bon.

A la question « A quel point êtes-vous à l'aise en général avec les nouvelles technologies du numérique ? » la valeur médiane est de 5, le 1^{er} quartile est de 4 et le 3^{ème} quartile est de 6 . La moyenne à cette question est de 4,918 sur 6.

A la question « Comment avez-vous trouvé l'expérience ? » la valeur médiane est de 5, le 1^{er} quartile est de 5 et le 3^{ème} quartile est de 6. La moyenne à cette question est de 5,326 sur 6.

A la question « L'utilisation du cube est-elle, selon vous, intuitive ? » la valeur médiane est de 5, le 1^{er} quartile est de 5 et le 3^{ème} quartile est de 6 . La moyenne à cette question est de 5,163 sur 6.

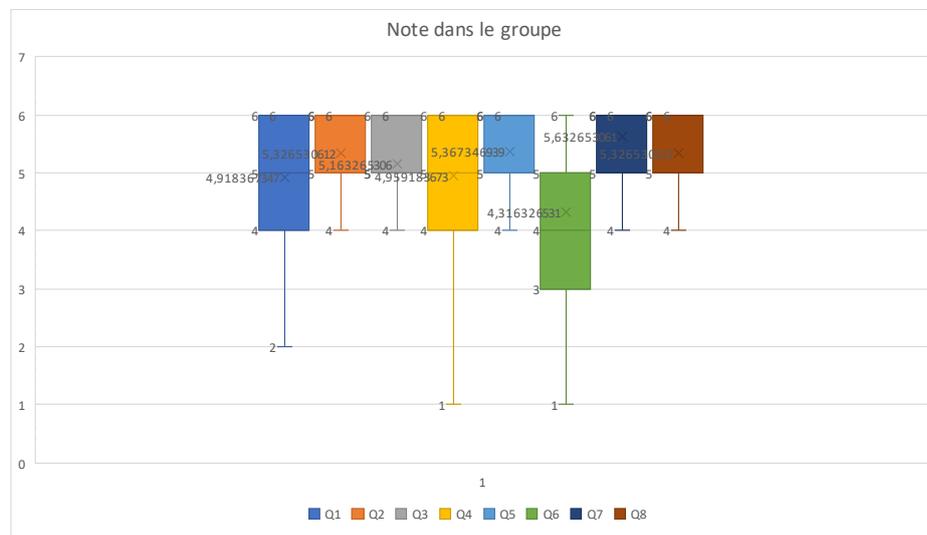
A la question « Est-ce que la réalité augmentée vous a permis de mieux visualiser dans l'espace ? » la valeur médiane est de 5, le 1^{er} quartile est de 4 et le 3^{ème} quartile est de 6. La moyenne à cette question est de 4,959 sur 6.

A la question « Selon vous, l'expérience apporte-t-elle quelque chose à l'enseignement ? » la valeur médiane est de 5, le 1^{er} quartile est de 4 et le 3^{ème} quartile est de 6. La moyenne à cette question est de 5,367 sur 6.

A la question «La pièce étudiée est-elle assez détaillée ?» la valeur médiane est de 4, le 1^{er} quartile est 3 de et le 3^{ème} quartile est de 5 . La moyenne à cette question est de 4,316.

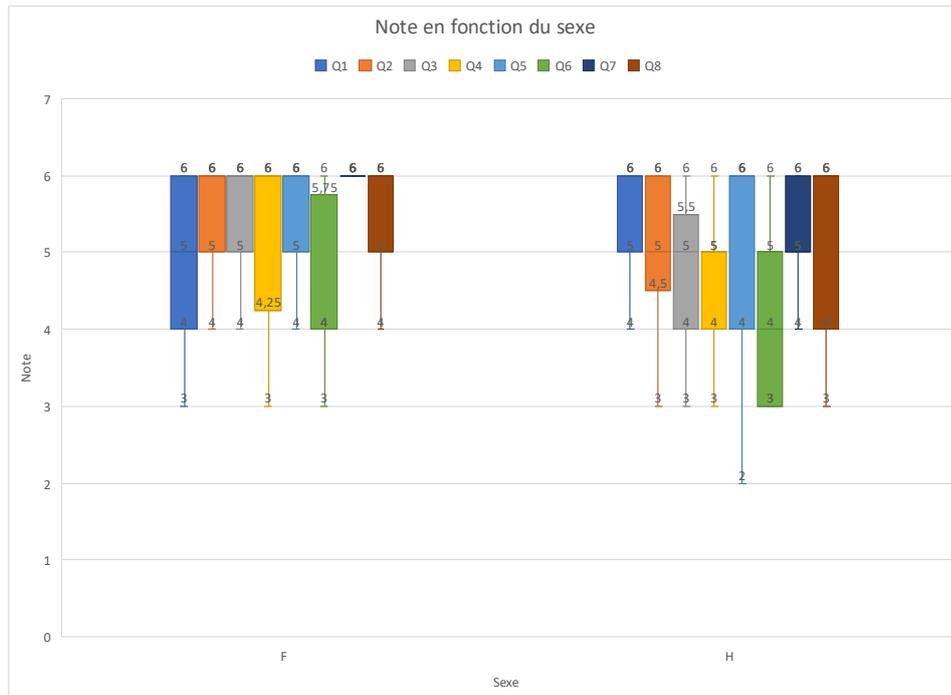
A la question « Aimeriez-vous avoir d'autres cours utilisant la réalité augmentée dans l'avenir ? » la valeur médiane est de 5, le 1^{er} quartile est de 5 et le 3^{ème} quartile est de 6. La moyenne à cette question est de 5,632.

A la question « Est-ce que la réalité augmentée pourrait devenir une option de choix dans votre façon d'étudier l'anatomie ? » la valeur médiane est de 5, le 1^{er} quartile est de 5 et le 3^{ème} quartile est de 6. La moyenne à cette question est de 5,326.



Box plot des notes dans le groupe étudié

Lorsqu'on regarde les réponses aux différentes questions en séparant les sexes féminin et masculin, on note des résultats plus élevés en faveur du sexe féminin, pouvant laisser penser que lors de cette première approche le sexe féminin a eu un meilleur contact avec la technologie proposée.



Box plot des notes du sexe masculin et du sexe féminin

d) Les améliorations à apporter selon les élèves

Les différentes remarques qui sont ressorties après avoir relevé les questionnaires sont les suivantes :

- Luminosité à améliorer
- Meilleure compatibilité pour autre que iPhone
- Pouvoir annoter dans l'espace
- Pouvoir isoler certaines pièces directement dans l'application
- Mettre en place des structures vasculaires et nerveuses
- Zoom compliqué à gérer

VI. Comparaison de deux méthodes d'enseignements en anatomie cervico céphalique et anatomie dentaire

1. Matériel et méthode

L'objectif de l'étude est de montrer si il y a une différence significative entre un cours donné avec l'aide des outils pédagogiques actuels et un cours donné avec l'aide la réalité augmentée.

a) Cours d'anatomie dentaire du 22 novembre 2019

L'étude a été réalisée sur une promotion d'étudiants de 2^{ème} année en chirurgie dentaire à la faculté de Toulouse. 83 étudiants ont été inclus dans cette étude. Les 83 étudiants ont été répartis dans 4 groupes randomisés. Un premier groupe appelé N1 composé de 16 étudiants assistera à un cours d'anatomie endodontique dispensé par le Dr OSTROSWKI Damien avec comme support les moyens pédagogiques classiques décrits plus haut dans ce manuscrit. Un deuxième groupe RA1, composé de 25 étudiants, assistera à ce même cours d'anatomie endodontique dispensé par le Dr MONSARRAT Paul avec comme support la réalité augmentée. Un troisième groupe N2, composé de 22 étudiants, assistera au cours d'anatomie endodontique, dispensé par le Dr MONSARRAT Paul, avec comme support les moyens pédagogiques classiques. Un dernier groupe RA2, composé de 20 étudiants, assistera au cours d'anatomie endodontique dispensé par le Dr OSTROSWKI Damien, avec l'aide de la réalité augmentée.

Le choix d'échanger les personnes en charge de dispenser les cours a été fait dans le but de réduire le biais due à l'intervenant. De ce fait chacun des deux intervenant dispensent un cours en réalité augmentée et un cours classique.

A la fin de chaque cours une évaluation sous forme de questionnaire à choix multiples a été réalisée. Cette évaluation a été annoncée comme sanctionnante pour l'année en cours afin de réduire un possible biais du au manque d'intérêt de l'étudiant.

b) Cours d'anatomie cervico céphalique du 26 novembre 2019

L'étude a été réalisée sur une promotion d'étudiants de 2^{ème} année en chirurgie dentaire à la faculté de Toulouse. 83 étudiants ont été inclus dans cette étude. Les 83 étudiants ont été répartis dans 4 groupes randomisés. Un premier groupe appelé N1 composé de 16 étudiants assistera à un cours d'anatomie cervico céphalique dispensé par le Dr OSTROSWKI Damien avec comme support les moyens pédagogiques classiques décrits plus haut dans ce manuscrit. Un deuxième groupe RA1, composé de 25 étudiants, assistera à ce même cours d'anatomie cervico céphalique dispensé par le Dr MONSARRAT Paul avec comme support la réalité augmentée. Un troisième groupe N2, composé de 22 étudiants, assistera au cours d'anatomie cervico céphalique, dispensé par le Dr MONSARRAT Paul, avec comme support les moyens pédagogiques classiques. Un dernier groupe RA2, composé de 20 étudiants, assistera au cours anatomie cervico céphalique dispensé par le Dr OSTROSWKI Damien, avec l'aide de la réalité augmentée.

Le choix d'échanger les personnes en charge de dispenser les cours a été fait dans le but de réduire le biais due à l'intervenant. De ce fait chacun des deux intervenant dispensent un cours en réalité augmentée et un cours classique.

A la fin de chaque cours une évaluation sous forme de schéma récapitulatif a été demandé. Un seul schéma par groupe de trois a été réalisé. Cette évaluation a été annoncée comme sanctionnante pour l'année en cours afin de réduire un possible biais du au manque d'intérêt de l'étudiant.

2. Cours d'anatomie cervico céphalique du 26 novembre 2019 : Diffusion des processus infectieux au niveau de la tête et du coup

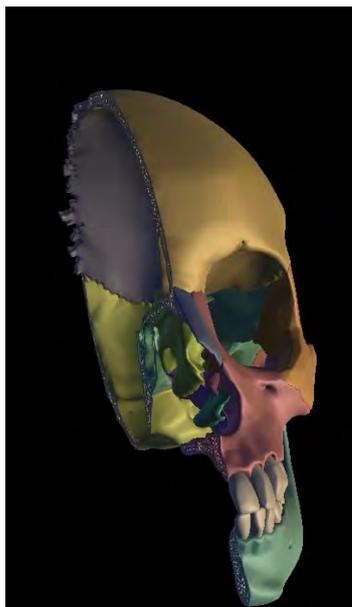
a) Contenu

Le cours dispensé ce jour portait sur la diffusion des processus infectieux au niveau de la tête et du cou.

Pour le cours en réalité augmentée, les élèves disposaient d'un hémicrane colorisé (Code Merge 2VVYB6) et du même hémicrane non colorisé (Code Merge WKKWLM image) qu'il était possible de télécharger dans Merge object viewer afin de le visualiser en réalité augmentée à l'aide du cube présenté plus haut dans ce manuscrit.



Capture d'écran de l'hémicrane non colorisé



Capture d'écran de l'hémicrane colorisé

Pour le cours « classique » les étudiants disposaient de manuels d'anatomie (Netter) et de cranes plastiques.

Il était question dans ce cours d'objectiver les différentes possibilités qu'avait une infection de se propager au niveau de la tête et du cou :

- Au niveau du maxillaire :
 - Cellulite Jugale
 - Cellulite vestibulaire
 - Abscès palatin sous périoste
 - Cellulite labiale supérieure
 - Cellulite sous nasale
- Au niveau mandibulaire :
 - Cellulite sus mylohyoïdienne
 - Cellulite sous mylohyoïdienne
 - Cellulite génienne basse
 - Cellulite labiale inférieure
 - Cellulite mentonnière
- A distance :
 - Diffusion dans le médiastin via les fascias cervicaux
 - Diffusion en arrière dans la loge infra temporale
 - Atteinte des structures nerveuses, artérielles, veineuses et lymphatiques (Veine faciale, nerf mandibulaire, chaîne lymphatique sous mandibulaire)

- Atteinte des glandes salivaires (Principalement glande sublinguale et submandibulaire)

b) Modèle d'évaluation

Les étudiants ont du faire un schéma, ou plusieurs, répondant à la question : « Quels sont les possibilité de diffusion d'une infection ayant pour origine une molaire mandibulaire ou maxillaire au niveau de la tête et du cou de façon locale et à distance ?»

Un barème a ensuite été rédigé pour permettre de corriger les schémas rendus.

3. Cours d'anatomie dentaire du 22 novembre 2019 : L'anatomie endodontique

a) Contenu

Le cours dispensé ce jour portait sur l'anatomie endodontique.

Pour le cours dispensé à l'aide de la réalité augmentée, les étudiants disposaient de modèles 3D de dents avec l'anatomie endocanalaire détaillées pour chacune d'elles visualisables sur Merge object viewer via le Merge cube :

- Une incisive mandibulaire



Capture d'écran d'une incisive mandibulaire sur Merge Object Viewer

- Une prémolaire mandibulaire (Code Merge NVV0NW)



Capture d'écran d'une deuxième prémolaire sur Merge Object Viewer

- Une molaire mandibulaire (Code Merge KVV GX5)



Capture d'écran d'une molaire mandibulaire sur Merge Object Viewer

- Une canine maxillaire (Code Merge QDD JPR image)



Capture d'écran d'un canine maxillaire sur Merge Object Viewer

- Une première prémolaire maxillaire molarisée (Code Merge 6RR N6W image)



Capture d'écran d'une première prémolaire maxillaire molarisée sur Merge Object Viewer

Pour le cours « classique » d'anatomie endodontique les étudiants ont assisté à un cours dispensé au moyen d'un PowerPoint avec des représentations de réseaux endocanalaire.

b) Modèle d'évaluation

L'évaluation s'est faite via un questionnaire à choix multiples de 21 questions. Lors de la correction, deux QCM (4 et 12) ont été retirés car ils n'étaient pas clairs. (Annexe 1)

4. Résultats

a) Résultats des questions à choix multiples sur le cours d'anatomie endodontique

b) Résultats de l'évaluation en anatomie cervico céphalique

Conclusion

Bibliographie

- 1- Hanzelka T, Dusek J, Ocasek F, Kucera J, Sedy J, Benes J, et al. Movement of the patient and the cone beam computed tomography scanner: objectives and possible solutions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2013;116: 769–773. doi:10.1016/j.oooo.2013.08.010
- 2- Scarfe W, Li Z, Aboelmaaty W, Scott S, Farman A. Maxillofacial cone beam computed tomography: essence, elements and steps to interpretation. *Aust Dent J*. 2012;57: 46–60. doi:10.1111/j.1834-7819.2011.01657.x
- 3- Kiljunen T, Kaasalainen T, Suomalainen A, Kortetniemi M. Dental cone beam CT: A review. *Phys Medica PM Int J Devoted Appl Phys Med Biol Off J Ital Assoc Biomed Phys AIFB*. 2015;31: 844–860. doi:10.1016/j.ejmp.2015.09.004
- 4- Scarfe WC, Li Z, Aboelmaaty W, Scott SA, Farman AG. Maxillofacial cone beam computed tomography: essence, elements and steps to interpretation. *Aust Dent J*. 2012;57 Suppl 1: 46–60. doi:10.1111/j.1834-7819.2011.01657.x
- 5- Molen AD. Considerations in the use of cone-beam computed tomography for buccal bone measurements. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. 2010;137: S130-135. doi:10.1016/j.ajodo.2010.01.015
- 6- Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc*. 2006;72: 75–80.
- 7- Macleod I, Heath N. Cone-beam computed tomography (CBCT) in dental practice. *Dent Update*. 2008;35: 590–592, 594–598.
- 8- Adibi S, Zhang W, Servos T, O'Neill PN. Cone beam computed tomography in dentistry: what dental educators and learners should know. *J Dent Educ*. 2012;76: 1437–1442.
- 9- Razavi T, Palmer RM, Davies J, Wilson R, Palmer PJ. Accuracy of measuring the cortical bone thickness adjacent to dental implants using cone beam computed tomography. *Clin Oral Implants Res*. 2010;21: 718–725. doi:10.1111/j.1600-0501.2009.01905.x
- 10- Br Ilmann D, Schulze RKW. Spatial resolution in CBCT machines for dental/maxillofacial applications-what do we know today? *Dento Maxillo Facial Radiol*. 2015;44: 20140204. doi:10.1259/dmfr.20140204
- 11- Chakeres DW. Clinical significance of partial volume averaging of the temporal bone. *AJNR Am J Neuroradiol*. 1984;5: 297–302.
- 12- Scarfe WC, Farman AG. What is cone-beam CT and how does it work? *Dent Clin North Am*. 2008;52: 707–730, v. doi:10.1016/j.cden.2008.05.005
- 13- Lofthag-Hansen S, Huuonen S, Gr ndahl K, Gr ndahl H-G. Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2007;103: 114–119. doi:10.1016/j.tripleo.2006.01.001
- 14- de Paula-Silva FWG, Wu M-K, Leonardo MR, da Silva LAB, Wesselink PR. Accuracy of periapical radiography and cone-beam computed tomography scans in diagnosing apical periodontitis using histopathological findings as a gold standard. *J Endod*. 2009;35: 1009–1012. doi:10.1016/j.joen.2009.04.006
- 15- Estrela C, Bueno MR, Leles CR, Azevedo B, Azevedo JR. Accuracy of cone beam computed tomography and panoramic and periapical radiography for detection of apical periodontitis. *J Endod*. 2008;34: 273–279. doi:10.1016/j.joen.2007.11.023
- 16- Andersson L, Andreasen JO, Day P, Heithersay G, Trope M, Diangelis AJ, et al. International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 2. Avulsion of permanent teeth. *Dent Traumatol Off Publ Int Assoc Dent Traumatol*. 2012;28: 88–96. doi:10.1111/j.1600-9657.2012.01125.x

- 17- Huuromonen S, Kvist T, Gr ndahl K, Molander A. Diagnostic value of computed tomography in re- treatment of root fillings in maxillary molars. *Int Endod J*. 2006;39: 827–833. doi:10.1111/j.1365- 2591.2006.01157.x
- 18- Tsai P, Torabinejad M, Rice D, Azevedo B. Accuracy of cone-beam computed tomography and periapical radiography in detecting small periapical lesions. *J Endod*. 2012;38: 965–970. doi:10.1016/j.joen.2012.03.001
- 19- Yoshioka T, Kikuchi I, Adorno CG, Suda H. Periapical bone defects of root filled teeth with persistent lesions evaluated by cone-beam computed tomography. *Int Endod J*. 2011;44: 245–252. doi:10.1111/j.1365-2591.2010.01814.x
- 20- Bornstein MM, Lauber R, Sendi P, von Arx T. Comparison of periapical radiography and limited cone- beam computed tomography in mandibular molars for analysis of anatomical landmarks before apical surgery. *J Endod*. 2011;37: 151–157. doi:10.1016/j.joen.2010.11.014
- 21- Dawood A, Brown J, Sauret-Jackson V, Purkayastha S. Optimization of cone beam CT exposure for pre-surgical evaluation of the implant site. *Dento Maxillo Facial Radiol*. 2012;41: 70–74. doi:10.1259/dmfr/16421849
- 22- Schloss T, Sonntag D, Kohli MR, Setzer FC. A Comparison of 2- and 3- dimensional Healing Assessment after Endodontic Surgery Using Cone-beam Computed Tomographic Volumes or Periapical Radiographs. *J Endod*. 2017;43: 1072–1079. doi:10.1016/j.joen.2017.02.007
- 23- Scarfe WC, Azevedo B, Pinheiro LR, Priaminiarti M, Sales MAO. The emerging role of maxillofacial radiology in the diagnosis and management of patients with complex periodontitis. *Periodontol 2000*. 2017;74: 116–139. doi:10.1111/prd.12193
- 24- Kim DM, Bassir SH. When Is Cone-Beam Computed Tomography Imaging Appropriate for Diagnostic Inquiry in the Management of Inflammatory Periodontitis? An American Academy of Periodontology Best Evidence Review. *J Periodontol*. 2017;88: 978–998. doi:10.1902/jop.2017.160505
- 25- Carter JB, Stone JD, Clark RS, Mercer JE. Applications of Cone-Beam Computed Tomography in Oral and Maxillofacial Surgery: An Overview of Published Indications and Clinical Usage in United States Academic Centers and Oral and Maxillofacial Surgery Practices. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. 2016;74: 668–679. doi:10.1016/j.joms.2015.10.018
- 26- Cevitanes LHS, Boen V, Paniagua B, Styner M, Nguyen T. Orthodontic and Orthognathic Surgery Planning Using CBCT. In: FHEA FBNB (Lond) MSc (Lond), (KCL), FDS RCS (Eng), M Orth RCS (Eng), FDS Orth RCS (Eng), GCAP (KCL), FHEA DSGB (Hons) BSc (Hons), MSc (Lond), FDS RCS (Eng), M Orth RCS (Eng), FDS (Orth) RCS (Eng), editors. *Orthognathic Surgery*. John Wiley & Sons, Ltd; 2016. pp. 221–234. doi:10.1002/9781119004370.ch8
- 27- Rios HF, Borgnakke WS, Benavides E. The Use of Cone-Beam Computed Tomography in Management of Patients Requiring Dental Implants: An American Academy of Periodontology Best Evidence Review. *J Periodontol*. 2017;88: 946–959. doi:10.1902/jop.2017.160548
- 28- Bornstein MM, Horner K, Jacobs R. Use of cone beam computed tomography in implant dentistry: current concepts, indications and limitations for clinical practice and research. *Periodontol 2000*. 2017;73: 51–72. doi:10.1111/prd.12161
- 29- Kapila SD, Nervina JM. CBCT in orthodontics: assessment of treatment outcomes and indications for its use. *Dento Maxillo Facial Radiol*. 2015;44: 20140282. doi:10.1259/dmfr.20140282
- 30- Scarfe W, Azevedo B, Toghiani S, Farman A. Cone Beam Computed Tomographic imaging in orthodontics. *Aust Dent J*. 2017;62: 33–50. doi:10.1111/adj.12479
- 31- Talaat W, Al Bayatti S, Al Kawas S. CBCT analysis of bony changes associated with temporomandibular disorders. *Cranio J Craniomandib Pract*. 2016;34: 88–94. doi:10.1179/2151090315Y.0000000002

- 32- Ma R-H, Yin S, Li G. The detection accuracy of cone beam CT for osseous defects of the temporomandibular joint: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep.* 2016;6: 34714. doi:10.1038/srep34714
- 33- Al-Saleh MAQ, Alsufyani NA, Saltaji H, Jaremko JL, Major PW. MRI and CBCT image registration of temporomandibular joint: a systematic review. *J Otolaryngol - Head Neck Surg.* 2016;45: 30. doi:10.1186/s40463-016-0144-4
- 34- Momany SM, AlJamal G, Shugaa-Addin B, Khader YS. Cone Beam Computed Tomography Analysis of Upper Airway Measurements in Patients With Obstructive Sleep Apnea. *Am J Med Sci.* 2016;352: 376–384. doi:10.1016/j.amjms.2016.07.014
- 35- Zimmerman JN, Lee J, Pliska BT. Reliability of upper pharyngeal airway assessment using dental CBCT: a systematic review. *Eur J Orthod.* 2017;39: 489–496. doi:10.1093/ejo/cjw079
- 36- Hodez C, Griffaton-Taillandier C, Bensimon I. Cone-beam imaging: Applications in ENT. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* 2011;128: 65–78. doi:10.1016/j.anorl.2010.10.008
- 37- Llana, C., Folguera, S., Forner, L., & Rodríguez-Lozano, F. J. (2017). Implementation of augmented reality in operative dentistry learning. *European Journal of Dental Education*, 22(1), e122–e130. doi:10.1111/eje.12269
- 38- *J Dent Educ.* 2019 Apr, Effectiveness of Augmented Reality Mobile Simulator in Teaching Local Anesthesia of Inferior Alveolar Nerve Block Mladenovic R, Pereira LAP, Mladenovic K, Videnovic N, Bukumiric Z, Mladenovic J
- 39- *Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2019 Aug Digitally Augmented Learning in Implant Dentistry Durham M, Engel B, Ferrill T, Halford J, Singh TP, Gladwell M

Tableau des illustrations :

Représentation 3D du fichier DICOM de l'ensemble du crane sans les tissus mous et avec les tissus mous	22
Hémi mandibule avec en transparence le canal mandibulaire.....	22
Merge cube disponible dans le commerce	23
Object viewer for Merge cube dans l'apple store	24
Capture d'écran de l'application	24
Capture d'écran de l'application avec mandibule en réalité augmentée	25
Capture d'écran du logiciel Visible body montrant le réseau artériel, veineux et nerveux de la tête et du cou	26
Réalité augmentée dans l'application Pokemon GO via un écran de smartphone ...	28
Exemple de lunettes projetant l'information dans le champ de vision de l'utilisateur	28
HTC Vive®	32
Casque de RV avec smartphone	32
Capture d'écran de l'élève injectant en réalité augmentée	35
Capture d'écran de la partie antérieur d'une mandibule visualisée en réalité augmentée.....	38
Box plot des notes dans le groupe étudié.....	40
Box plot des notes du sexe masculin et du sexe féminin	41
Capture d'écran de l'hémicrane non colorisé.....	43
Capture d'écran de l'hémicrane colorisé.....	44
Capture d'écran d'une incisive mandibulaire sur Merge Object Viewer	45
Capture d'écran d'une deuxième prémolaire sur Merge Object Viewer.....	46
Capture d'écran d'une molaire mandibulaire sur Merge Object Viewer	46
Capture d'écran d'une première prémolaire maxillaire molarisée sur Merge Object Viewer.....	47

Annexes

Annexe 1 : QCM anatomie endodontique

QCM Anatomie endodontique

Nom et Prénom :

Entourez la ou les bonne(s) réponse(s)

Question 1 : Une incisive centrale maxillaire possède des cornes pulpaire placées selon un axe :

- 1) Vestibulo lingual 2) Mésio distal 3) Ne possède pas de corne pulpaire

Question 2 : Les incisives mandibulaires sont :

- 1) Allongées dans le sens mésio distal 2) Ovoïdes 3) Allongées dans le sens vestibulo lingual

Question 3 : L'incisive mandibulaire peut être formée :

- 1) D'une racine et deux canaux 2) De deux racines et deux canaux 3) D'une racine et un canal

Question 4 : La canine mandibulaire à une forme :

- 1) Ovoïde 2) Aplatie dans le sens mésio distal

Question 5 : La canine mandibulaire possède le plus souvent :

- 1) 1 Canal 2) 2 canaux

Question 6 : Les prémolaires ont plutôt tendance à avoir :

- 1) 1 corne pulpaire 2) 2 cornes pulpaire 3) 3 cornes pulpaire

Question 7 : Quelle est la forme la plus rencontrée pour une prémolaire mandibulaire :

- 1) 1 canal et ovoïde 2) 2 canaux et aplatie en mésio distal 3) Aucun des deux

Question 8 : La prémolaire mandibulaire possède le plus souvent :

- 1) 1 racine et 1 canal 2) 1 racine et deux canaux 3) 2 racines et 2 canaux

Question 9 : La molaire mandibulaire possède le plus souvent :

- 1) 2 racines et 3 canaux 2) 2 racines et 2 canaux 3) 3 racines et 3 canaux

Question 10 : La racine distale d'une molaire mandibulaire est le plus souvent :

- 1) Courbée en mésial 2) Droite 3) Courbée en distal

Question 11 : La racine distale d'une molaire peut posséder :

- 1) 1 canal 2) 2 canaux 3) Une canal de type 2 de Weine 4) Un canal de type 4 de Weine

Question 12 : La canine maxillaire est le plus souvent :

- 1) Ovoïde 2) Aplatie dans le sens mésio distal

Question 13 : Dans une prémolaire molarisée, il y a le plus souvent :

- 1) 3 cuspides 2) 3 racines 3) 3 canaux 4) 3 apex

Question 14 : La première prémolaire maxillaire possède le plus souvent :

- 1) 1 canal 2) 2 canaux

Question 15 : La deuxième prémolaire maxillaire possède le plus souvent :

- 1) 1 canal 2) 2 canaux

Question 16 : Un canal unitaire se terminant en deux apex est, suivant la classification de Weine :

- 1) Type II 2) Type IV

Question 17 : La classification de Weine comprend :

- 1) 3 types 2) 4 types 3) 5 types

Question 18 : Dans une même racine les canaux peuvent :

- 1) Se rejoindre 2) Se dédoubler 3) S'unifier 4) Être deux

Question 19 : La molaire maxillaire possède le plus souvent :

- 1) 3 canaux 2) 4 canaux 3) 5 canaux

Question 20 : Une molaire mandibulaire possède généralement :

- 1) 2 cornes pulpaires 2) 3 cornes pulpaires 3) 4 cornes pulpaires

Question 21 : Quel élément est un bon point de repère pour espérer tomber au milieu de la chambre pulpaire d'une molaire maxillaire :

- 1) La cuspide mésio-vestibulaire 2) La cuspide mésio-linguale 3) Le sillon intercuspide

RESUME EN FRANÇAIS

La réalité augmentée est une technologie permettant de visualiser une image en 3D dans un environnement réel par le biais d'un écran. L'objectif de cette thèse est de savoir si la réalité augmentée comme support pédagogique apporte une amélioration dans l'apprentissage de l'anatomie cervico-céphalique et de l'anatomie dentaire, et si elle encourage son apprentissage.

Pour cela nous avons réalisé une étude comparant une méthode d'enseignement telle que dispensée habituellement à une méthode utilisant la réalité augmentée. Les résultats de l'étude ne montrent pas de différence statistiquement significative en faveur de la réalité augmentée dans l'apprentissage d'un enseignement en anatomie cervico-céphalique ou en anatomie dentaire.

La réalité augmentée apparaît comme un support presque sans limite, car elle ne présente que très peu de contraintes matérielles. Une application et un smartphone suffisent à afficher ce que l'on souhaite, et nous permettent d'interagir à l'infini avec la pièce affichée. Cependant, d'autres études doivent être menées pour définir le meilleur cadre à ce support qui peut offrir une multitude de solutions pour améliorer l'enseignement en odontologie.

TITRE EN ANGLAIS

Use of augmented reality for educational purposes in Oral Medicine

MOTS CLES

Réalité augmentée, Cone-Beam, Pédagogie, Odontologie, Anatomie

INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE

Université Toulouse III - Paul Sabatier
Faculté de chirurgie dentaire
3 chemin des Maraichers
31062 Toulouse Cedex 09

Directeur de thèse : Dr Paul MONSARRAT