

UNIVERSITÉ DE LILLE
DEPARTEMENT FACULTAIRE UFR3S-ODONTOLOGIE

[Année de soutenance : 2025]

N°:

THÈSE POUR LE
DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 20 MAI 2025

Par Alexandre LIÉVOIS

Réalisation de vidéos pédagogiques : présentation 3D des points
céphalométriques pour les étudiants en odontologie

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Thomas COLARD

Assesseurs :

Monsieur le Docteur Philippe ROCHER

Madame le Docteur Mathilde SAVIGNAT

Madame le Docteur Amélie de BROUCKER

Président de l'Université :	Pr. R. BORDET
Directrice Générale des Services de l'Université :	A.V. CHIRIS FABRE
Doyen UFR3S :	Pr. D. LACROIX
Directrice des Services d'Appui UFR3S :	A. PACAUD
Vice doyen département facultaire UFR3S-Odontologie :	Pr. C. DELFOSSE
Responsable des Services :	L. KORAÏCHI
Responsable de la Sclolarité :	V MAURIAUCOURT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE

PROFESSEUR DES UNIVERSITES EMERITE

E DEVEAUX Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

K. AGOSSA Parodontologie

P. BOITELLE Responsable du département de Prothèse

T. COLARD Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux

C. DELFOSSE Vice doyen du département facultaire UFR3S-Odontologie
Odontologie Pédiatrique
Responsable du département d'Orthopédie dento-faciale

L ROBBERECHT Responsable du Département de Dentisterie
Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

T. BECAVIN	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, OdontologieLégale
F. BOSCHIN	Parodontologie

C. CATTEAU **Responsable du Département de Prévention,
Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.**

X. COUTEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
C. DENIS	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses

M. DUBAR **Responsable du Département de Parodontologie**

A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses

L. NAWROCKI **Responsable du Département de Chirurgie Orale
Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHU Lille**

C. OLEJNIK **Responsable du Département de Biologie Orale**

H PERSOON Dentisterie Restauratrice Endodontie
(Maître de conférences des Universités associé)

P. ROCHER Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux

M. SAVIGNAT **Responsable du Département de Fonction-Dysfonction,
Imagerie,Biomatériaux**

T. TRENTESAUX **Responsable du Département d'Odontologie Pédiatrique**

J. VANDOMME	Prothèses
R. WAKAM KOUAM	Prothèses

PRATICIEN HOSPITALIER et UNIVERSITAIRE

M BEDEZ	Biologie Orale
---------	----------------

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

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

Aux membres du jury,

Monsieur le Professeur Thomas COLARD

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Section Réhabilitation Orale

*Département Fonction/Dysfonction, **Imagerie** et Biomatériaux*

Docteur en Chirurgie Dentaire (Université de Lille)

Docteur du Muséum National d'Histoire Naturelle en Anthropologie Biologique (MNHN, Paris)

Habilitation à Diriger des Recherches (Université de Lille)

Master 1 - Biologie-Santé (Université de Lille)

Master 2 - Evolution Humaine (MNHN, Paris)

DIU Orthopédie Dento-Cranio-Maxillo-Faciale (Sorbonne Université, Paris)

Chargé de mission Recherche

Je vous remercie d'avoir accepté d'être le président du jury de ma thèse. Vous m'avez apporté une aide précieuse pour la réalisation de cette thèse. Votre disponibilité et vos conseils m'ont permis d'avancer efficacement et de progresser dans ce projet. Je vous en suis profondément reconnaissant.

Monsieur le Docteur Philippe ROCHER

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Odontologie de l'Université de Lille2

Maîtrise des Sciences Biologiques et Médicales

Diplôme d'Etudes Approfondies de Génie Biologique et Médicale - option Biomatériaux

Diplôme Universitaire de Génie Biologique et Médicale

Certificat d'Etudes Supérieures de Biomatériaux

Je vous remercie d'avoir accepté de participer à l'évaluation de mon travail. Votre présence au sein de mon jury est pour moi un honneur. Je vous suis reconnaissant pour votre présence à ce moment symbolique qui clôture plusieurs années de formation.

Madame le Docteur Mathilde SAVIGNAT

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Odontologie de l'Université de Lille2

Master Recherche Biologie Santé - Spécialité Physiopathologie et Neurosciences

Responsable du Département des Sciences Anatomiques

Chargée de mission PASS - LAS

Je vous remercie chaleureusement d'avoir accepté de faire partie de ce jury. J'ai eu le plaisir de partager des vacations aux urgences avec vous en dernière année. Votre approche clinique et votre bienveillance ont été pour moi une source d'inspiration et d'apprentissage. Je suis honoré de vous avoir à mes côtés pour cette étape importante de mon parcours.

Madame le Docteur Amélie de BROUCKER

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université de Lille2

Chargé de mission Vie de campus et relations étudiants

Docteur de Broucker, je tenais à vous remercier tout particulièrement pour votre rôle essentiel dans la réalisation de cette thèse. Vous avez su être à l'écoute tout au long de cette année, en faisant preuve de bienveillance et d'une disponibilité constante. Merci d'avoir pensé à moi pour ce sujet de thèse, de m'avoir guidé avec patience et d'avoir partagé vos précieux conseils. Votre accompagnement et votre expertise ont été des éléments clés dans l'aboutissement de ce travail.

Table des matières

1	INTRODUCTION.....	12
2	INTERET DU SUPPORT	13
2.1	OPTIMISATION DE LA COMPREHENSION	13
2.2	RENFORCEMENT DE LA MEMORISATION ET DE L'ASSIMILATION	14
2.3	PERSONNALISATION DE L'APPRENTISSAGE GRACE AUX OUTILS NUMERIQUES INTERACTIFS	15
2.4	INTEGRATION DU CONNECTIVISME DANS L'ENSEIGNEMENT	15
2.5	PREPARATION AUX EXIGENCES CLINIQUES ET PROFESSIONNELLES	16
3	MATERIEL	16
3.1	PRESENTATION DE 3D SLICER	16
3.2	BASE DE DONNEES	16
3.3	POINTS CEPHALOMETRIQUES	17
3.3.1	<i>Développement et sélection des points céphalométriques</i>	<i>17</i>
3.3.2	<i>Définition des points céphalométriques.....</i>	<i>18</i>
3.3.2.1	Ptériion	18
3.3.2.2	Articulaire postérieur	18
3.3.2.3	Épine nasale antérieure.....	18
3.3.2.4	Épine nasale postérieure	18
3.3.2.5	Sella.....	18
3.3.2.6	Nasion.....	18
3.3.2.7	Point A	18
3.3.2.8	Point B	19
3.3.2.9	Pogonion.....	19
3.3.2.10	Gnathion	19
3.3.2.11	Menton	19
3.3.2.12	Gonion	19
3.3.2.13	Basion	19
3.3.2.14	Condylion.....	19
3.3.2.15	Orbital	19
3.3.2.16	Porion	20
4	METHODE : PROTOCOLE DU FONCTIONNEMENT DE 3D SLICER	20
4.1	CHARGEMENT DES FICHIERS DICOM	20
4.2	CREATION D'UN MASQUE DANS L'EDITEUR DE SEGMENTS	21
4.3	APPLICATION D'UN SEUIL DE DENSITE (THRESHOLD)	22
4.4	NETTOYAGE DES ARTEFACTS	24
4.4.1	<i>Utilisation de l'outil Islands</i>	<i>24</i>
4.4.2	<i>Suppression des petits artefacts</i>	<i>24</i>
4.4.3	<i>Retouches manuelles avec Scissor et Erase</i>	<i>25</i>
4.5	CREATION DU MARQUAGE DES POINTS.....	27
4.6	EXPORTER LE FICHIER	28
5	DIFFUSION	30
6	DISCUSSION	36
6.1	AVANTAGE DE L'ELABORATION D'UN OUTIL PEDAGOGIQUE INTERACTIF.....	36
6.2	LIMITES	36
6.3	PERSPECTIVES D'AMELIORATION	37
7	CONCLUSION	37

LEXIQUE

NMDID : New Mexico Decedent Image Database

NIJ : National Institute of Justice

Pt : Ptérion

Ar : Articulaire postérieur

ENA : Épine nasale antérieure

ENP : Épine nasale postérieure

S : Sella

N : Nasion

Pg : Pogonion

Gn : Gnathion

Me : Menton

Go : Gonion

Ba: Basion

Co: Condylion

Or: Orbital

Po: Porion

1 Introduction

L'enseignement des points céphalométriques est une étape essentielle dans la formation des étudiants en odontologie, en particulier en orthodontie et en chirurgie maxillo-faciale. La céphalométrie est une technique d'analyse radiologique qui permet d'évaluer la structure du crâne, des maxillaires et de la mandibule en se basant sur des repères anatomiques spécifiques. Ces repères sont appelés points céphalométriques. Ils sont définis comme des points de référence anatomiques ou morphologiques utilisés pour l'analyse des structures cranio-faciales sur des radiographies latérales du crâne (téléradiographie de profil). Ils servent à poser des diagnostics, planifier des traitements orthodontiques et analyser les relations cranio-faciales [1, 2].

Toutefois, comprendre et identifier ces points nécessite une perception spatiale avancée, ce qui peut constituer un défi pour les étudiants. Habituellement, l'enseignement de la céphalométrie s'effectue sur des supports bi-dimensionnels (2D), comme des radiographies ou des schémas. Cependant, ces ressources ne permettent pas la visualisation tridimensionnelle (3D) des structures anatomiques, rendant parfois l'apprentissage difficile et abstrait.

L'émergence de nouvelles technologies offre des possibilités innovantes pour l'enseignement grâce à l'incorporation d'outils interactifs en 3D. Plusieurs études ont prouvé que l'emploi de modèles 3D interactifs améliore la compréhension, la mémorisation et l'intégration des concepts anatomiques complexes par rapport aux ressources classiques [3, 4]. D'après Dale, les approches d'apprentissage nécessitant une interaction directe avec le contenu pédagogique, comme la manipulation de modèles en 3D, sont plus efficaces que les méthodes strictement passives [5]. Par ailleurs, les technologies numériques permettent une personnalisation de l'apprentissage, adaptée aux divers modes cognitifs des étudiants [6, 7].

Dans ce contexte, notre travail est de créer un outil pédagogique interactif qui permet de présenter en 3D les points céphalométriques à l'aide du logiciel 3D Slicer. Ce logiciel open source, fréquemment employé dans le secteur de la médecine, facilite la visualisation et l'étude d'images anatomiques en trois dimensions [8]. Cette ressource vise principalement à améliorer l'apprentissage en offrant une représentation interactive et dynamique des points céphalométriques, rendant ainsi leur identification et leur compréhension plus aisée.

Ce travail s'inscrit dans une méthode d'apprentissage moderne et combine les idées de connectivisme et d'apprentissage par l'expérience [9, 10, 11]. Il aide les étudiants à mieux se préparer à leur stage clinique futur [12]. Cette thèse exposera d'abord l'intérêt des supports interactifs 3D pour apprendre les points céphalométriques. Elle détaillera le matériel utilisé, notamment le logiciel 3D Slicer et les points céphalométriques sélectionnés, présentera la méthode utilisée pour modéliser les points céphalométriques en 3D. Enfin, des perspectives sur les futures applications de ce soutien pédagogique en odontologie seront discutées.

2 Intérêt du support

En odontologie, les méthodes d'enseignement évoluent rapidement avec les technologies numériques. Dans les programmes pédagogiques, l'intégration des outils interactifs, en particulier en trois dimensions (3D), offre de nouvelles perspectives pour l'apprentissage des concepts complexes tels que les points céphalométriques. L'intérêt de ces supports repose sur leur capacité à améliorer la compréhension et la mémorisation.

2.1 Optimisation de la compréhension

Les points céphalométriques demandent une visualisation précise pour être maîtrisés par les étudiants. Les outils interactifs en 3D d'aujourd'hui offrent ainsi une véritable exploration approfondie et dynamique. Ils facilitent la localisation et la reconnaissance dans l'espace de ces points, à la fois pour l'étudiant comme pour le professionnel désireux d'actualiser ses connaissances. Par comparaison aux modèles statiques classiques, les représentations 3D fournissent une perspective globale et manipulable, facilitant ainsi la compréhension de la spatialité et des liens anatomiques [3]. Par ailleurs, les recherches menées dans les sciences du e.learning indiquent que l'étude d'objets en 3D améliore significativement la compréhension des structures par rapport à l'utilisation de supports en 2D [4]. Les modèles interactifs sont plus qu'utiles et favorisent une meilleure assimilation des connaissances en rendant l'apprentissage plus immersif.

2.2 Renforcement de la mémorisation et de l'assimilation

D'après les principes de la pyramide de l'apprentissage décrite par Dale (Fig.1), les méthodes d'apprentissage impliquant des expériences concrètes, comme l'utilisation de modèles interactifs, apparaissent plus efficaces que les approches purement abstraites [5]. Les supports en 3D permettent aussi de passer d'une approche passive (lecture et écoute) à une approche active, où l'étudiant interagit directement avec les contenus pédagogiques.

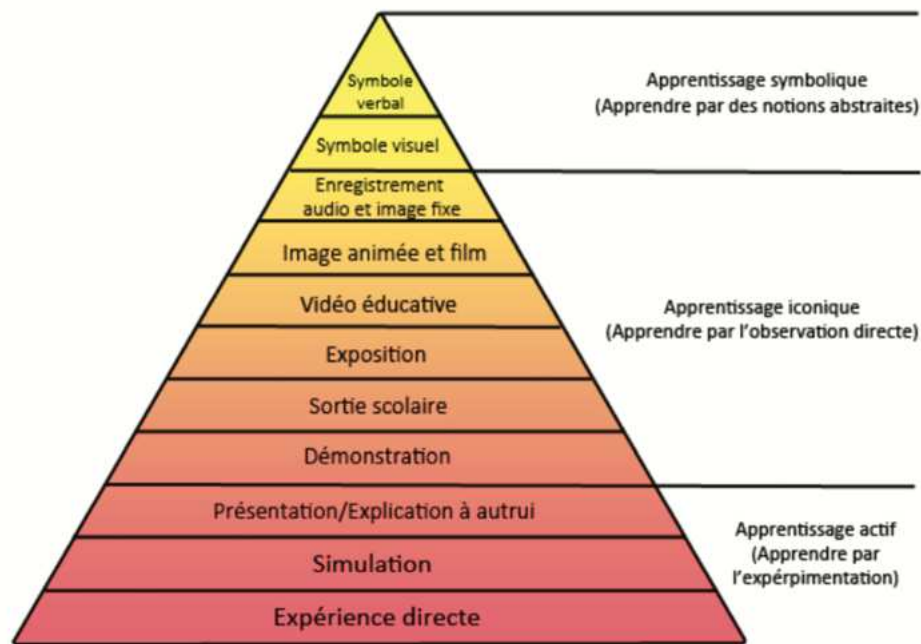


Figure 1 : pyramide d'apprentissage de Dale [5]

Par ailleurs, il est démontré que les technologies interactives, comme les présentations en 3D, sollicitent simultanément plusieurs sens, et qu'elles renforcent les circuits neuronaux impliqués dans la mémorisation [13]. Les supports interactifs s'adaptent aussi particulièrement bien aux apprenants visuels et kinesthésiques, qui représentent une part significative des étudiants en Odontologie [6]. Ces nouveaux outils d'apprentissage offrent donc une méthode pédagogique multimodale (Fig. 2) qui répond aux besoins variés des étudiants.

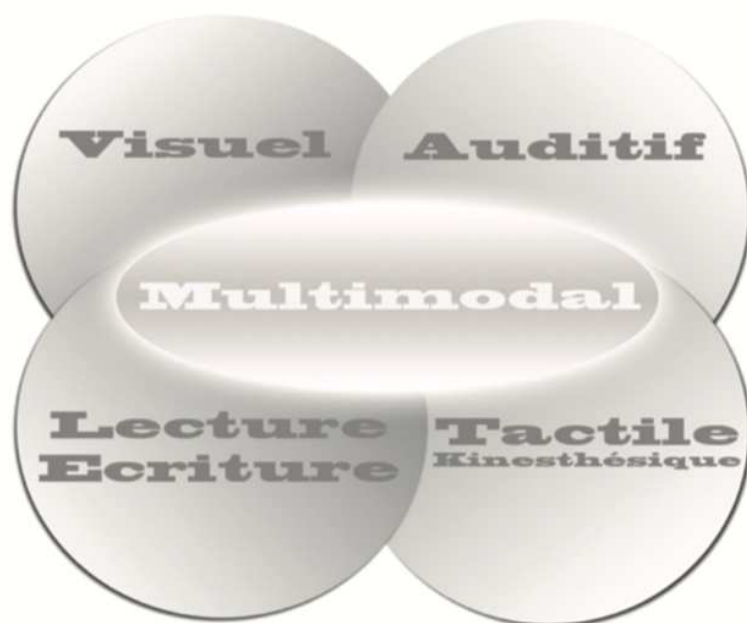


Figure 2 : schéma des différents modes d'apprentissage [6]

2.3 Personnalisation de l'apprentissage grâce aux outils numériques interactifs

Un autre avantage de ces supports interactifs réside dans leur adaptabilité aux rythmes et styles d'apprentissage individuels. Grâce à ces outils, les étudiants peuvent revenir sur les points difficiles et approfondir les notions spécifiques selon leurs besoins [7]. Cela favorise un apprentissage autonome et personnalisé, en accord avec les principes du cognitivisme, qui souligne l'importance de rendre l'apprenant actif dans le processus éducatif [9].

2.4 Intégration du connectivisme dans l'enseignement

Le connectivisme, modèle pédagogique adapté à l'ère numérique, met en avant l'utilisation des technologies interactives pour relier différents domaines et enrichir les interactions entre les apprenants et les enseignants [10]. En Odontologie, l'intégration de supports en 3D dans les cursus est une ressource supplémentaire qui amène une meilleure collaboration entre étudiants et enseignants. Cela permet de créer des espaces d'apprentissage où les concepts théoriques sont directement appliqués dans des contextes pratiques.

De plus, les outils interactifs facilitent la communication entre étudiants, enseignants, et favorisent un retour d'information rapide et constructif, essentiel à la progression pédagogique [9].

2.5 Préparation aux exigences cliniques et professionnelles

Enfin, l'utilisation de supports en 3D prépare les étudiants aux défis cliniques en leur offrant une représentation réaliste des structures anatomiques. Ces outils permettent de faire le lien entre la théorie et la pratique clinique, en s'appuyant sur des démonstrations réalistes et interactives. Une étude menée en chirurgie orale a révélé que 94 % des étudiants préfèrent les démonstrations interactives aux cours magistraux classiques, et elle met en évidence l'efficacité des approches pédagogiques immersives [12].

Les compétences acquises grâce à ces outils se traduisent directement en pratique clinique, où la précision et la compréhension spatiale sont cruciales pour le succès des traitements orthodontiques. Ces supports s'inscrivent aussi dans une approche pédagogique moderne, en phase avec les exigences cliniques et technologiques actuelles, et facilitent l'intégration de l'étudiant dans sa future vie professionnelle.

3 Matériel

3.1 Présentation de 3D slicer

3D slicer est un logiciel gratuit et open source destiné à la visualisation, au traitement, à la segmentation, à l'enregistrement et à l'analyse d'images et de maillages 3D dans les domaines médical, biomédical et autres. Il est également utilisé pour la planification et la navigation lors de procédures guidées par l'image [8].

3.2 Base de données

La sélection du sujet a été réalisée dans la base de données New Mexico Decedent Image Database (NMDID) [30]. Les services médicaux-légaux de l'université ont répertorié des CT scans de patients autopsiés.

Le NIJ (National Institute of Justice) a rendu accessible les images CT pour la recherche en finançant une subvention pour développer cette base de données afin de la documenter et la rendre disponible gratuitement pour les chercheurs.

3.3 Points céphalométriques

3.3.1 Développement et sélection des points céphalométriques

Pour la conception de l'outil pédagogique interactif, une série de points céphalométriques principaux est sélectionnée : ptérion (Pt), articulaire postérieur (Ar), nasion (N), point A, point B, pogonion (Pg), gnathion (Gn), menton (Me), gonion (Go), basion (Ba), condylion (Co), orbital (Or) et porion (Po). Ces repères ont été retenus en raison de leur prévalence et de leur importance dans les principales analyses céphalométriques utilisées en Odontologie et en Orthodontie.

La sella (S) et le nasion (N), par exemple, sont des points clés de l'analyse de Steiner. Ensemble, ils définissent le plan SN, qui sert de référence pour évaluer les relations cranio-faciales [14].

Les points A et B sont essentiels dans les analyses de Steiner et de Delaire. Ils permettent de déterminer la position relative des maxillaires et de la mandibule par rapport à la base du crâne, en évaluant les relations sagittales [14,15].

Les points pogonion (Pg), gnathion (Gn) et menton (Me) jouent un rôle central dans l'évaluation du profil facial et des proportions verticales. Ces repères sont particulièrement mis en avant dans les analyses de Delaire, Tweed et McNamara, qui s'intéressent aux relations morphologiques entre la mandibule, le menton et les tissus mous environnants [15,16,17].

Le gonion (Go) est essentiel pour mesurer et analyser l'angle mandibulaire, un élément central dans l'approche morphologique de Delaire, qui en souligne l'importance pour comprendre la structure mandibulaire [15,18]. De même, des points comme le basion (Ba) et le condylion (Co) sont indispensables pour évaluer la base du crâne et la position des condyles mandibulaires, comme le montrent les analyses de Björk et Delaire [15,19].

Enfin les repères orbitaires comme l'orbital (Or) et le porion (Po) sont indispensables pour tracer le plan de Francfort, une référence classique utilisée dans de nombreuses analyses, y compris celle de Delaire [15,20].

En regroupant ces points, la pertinence et l'applicabilité dans les approches céphalométriques traditionnelles et modernes sont assurées. Cela garantit que cet outil sera une ressource précieuse pour l'apprentissage en Odontologie.

3.3.2 Définition des points céphalométriques

3.3.2.1 *Ptérion*

Le ptérion est le point situé à l'intersection des sutures sphéno-pariétales et sphéno-temporales. Ce point est utilisé comme repère dans les études de développement cranio-facial [1].

3.3.2.2 *Articulaire postérieur*

Le point articulaire postérieur est le point situé à l'intersection de l'ombre du condyle mandibulaire et de la base du crâne. Il est crucial pour évaluer la position mandibulaire.

3.3.2.3 *Épine nasale antérieure*

L'épine nasale antérieure est le point le plus antérieur de l'épine nasale, utilisé pour évaluer la projection antérieure du maxillaire [21].

3.3.2.4 *Épine nasale postérieure*

L'épine nasale postérieure est le point postérieur de la crête nasale palatine, essentiel pour définir les dimensions du maxillaire postérieur [14].

3.3.2.5 *Sella*

La sella est le centre géométrique de la selle turcique, utilisé comme point de référence stable pour les plans de base du crâne [20].

3.3.2.6 *Nasion*

Le nasion est le point le plus antérieur de la suture fronto-nasale, situé sur la ligne médiane [14].

3.3.2.7 *Point A*

Le point A est le point le plus concave sur la face antérieure de l'os maxillaire entre la racine de l'incisive et l'épine nasale antérieure [15,21].

3.3.2.8 *Point B*

Le point B est le point le plus concave sur la face antérieure de la mandibule, situé entre l'éminence mentonnière et les incisives centrales mandibulaires [15,21].

3.3.2.9 *Pogonion*

Le pogonion est le point le plus antérieur de la symphyse mandibulaire [15,16].

3.3.2.10 *Gnathion*

Le gnathion est le point situé à mi-chemin entre le pogonion et le menton sur la ligne médiane [15].

3.3.2.11 *Menton*

Le point mentonnier est le point le plus inférieur de la symphyse mandibulaire, utilisé pour les mesures verticales [17].

3.3.2.12 *Gonion*

Le gonion est le point le plus postérieur et inférieur de l'angle mandibulaire [15,18].

3.3.2.13 *Basion*

Le basion est le point le plus antérieur de la partie inférieure du foramen magnum [19].

3.3.2.14 *Condylion*

Le condylion est le point le plus supérieur et postérieur de la tête du condyle mandibulaire [18].

3.3.2.15 *Orbital*

L'orbital est le point le plus inférieur de l'orbite, utilisé pour tracer le plan de Francfort [20].

Le porion est le point le plus supérieur du méat acoustique externe, également utilisé pour tracer le plan de Francfort [20].

4 Méthode : protocole du fonctionnement de 3D slicer

4.1 Chargement des fichiers DICOM

Il faut importer les fichiers DICOM dans 3D slicer en utilisant l'option « Import DICOM » dans le menu principal, puis cliquer sur le bouton « load » pour afficher le scanner (Fig. 3). Les données doivent être correctement chargées et visualisées dans les différentes vues (axiale, sagittale, coronale) (Fig. 4).

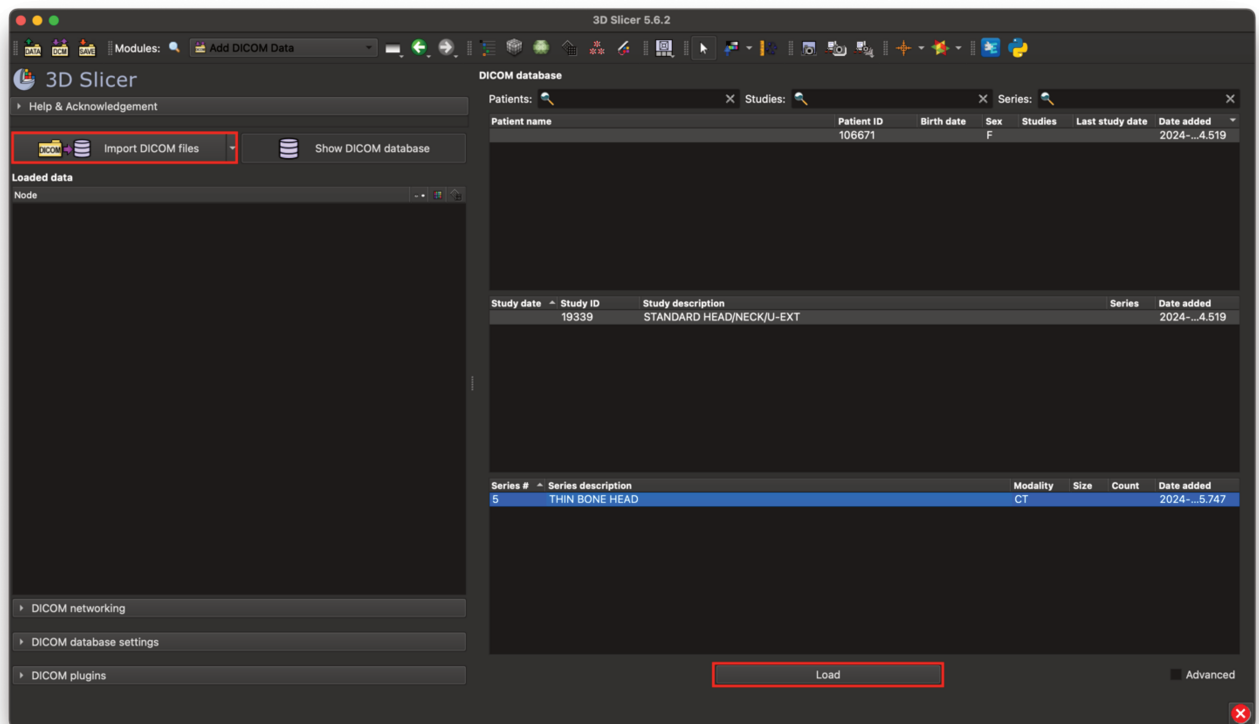


Figure 3 : interface 3D slicer, importation du scanner [illustration personnelle]

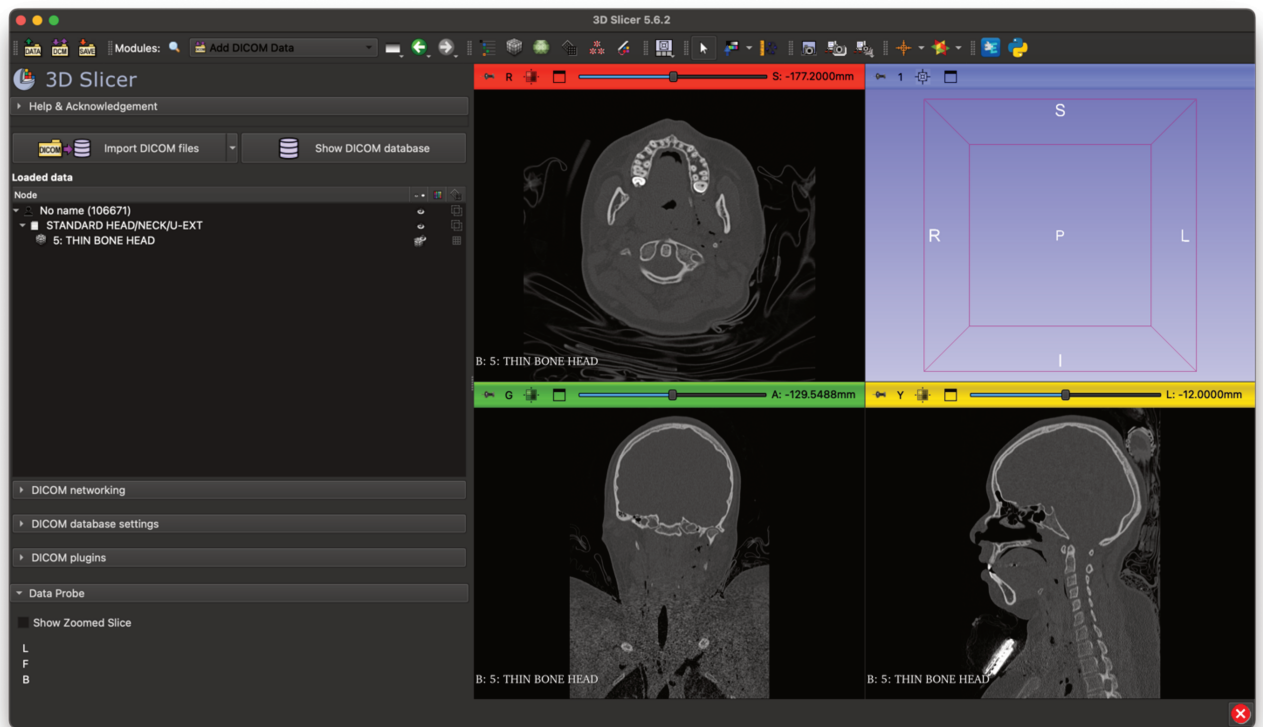


Figure 4 : interface 3D slicer, après importation du scanner [illustration personnelle]

4.2 Création d'un masque dans l'éditeur de segments

Dans l'onglet « Segment Editor » (Éditeur de segments), il faut créer un nouveau masque (cliquer sur « add ») nommé « Bone » (Os). Ce masque sera utilisé pour délimiter les régions correspondant aux structures osseuses du crâne (Fig. 5).

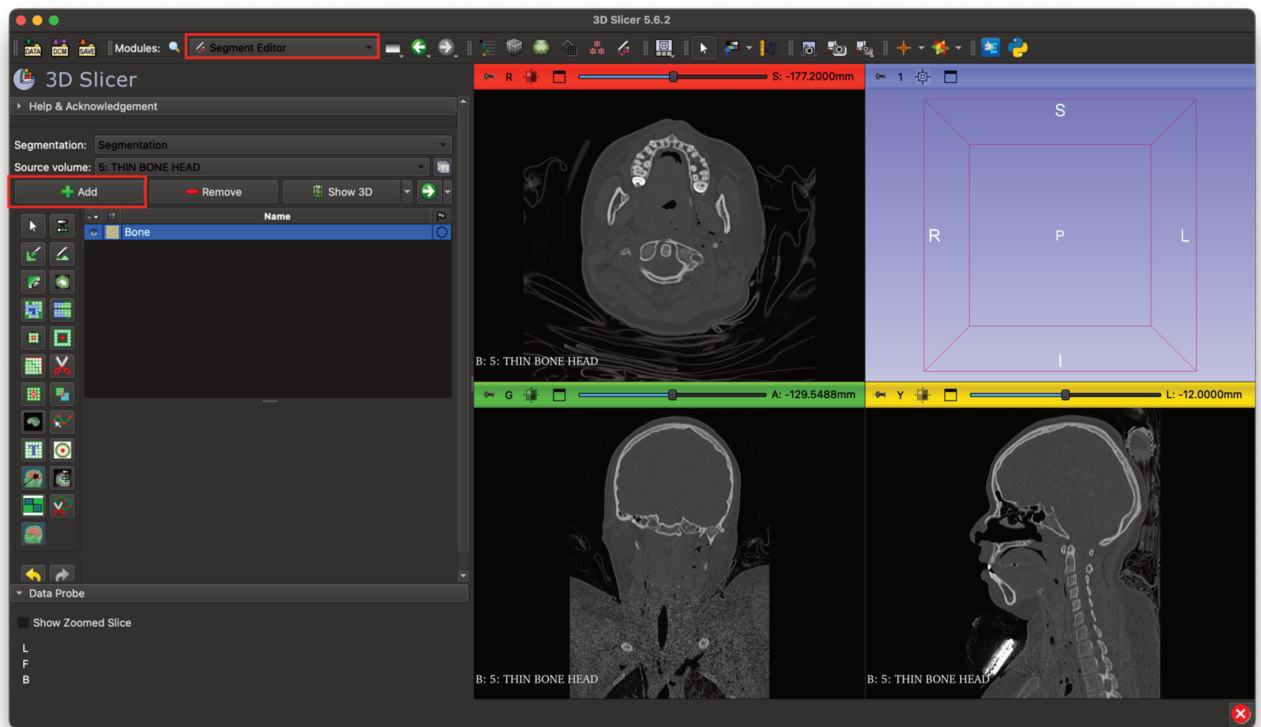


Figure 5 : interface 3D slicer, création du masque [illustration personnelle]

4.3 Application d'un seuil de densité (Threshold)

Dans l'éditeur de segments, il faut sélectionner l'outil « threshold » (seuil) et définir les valeurs de densité pour isoler les structures osseuses :

- Valeur minimale : 350 Hounsfield Units (HU) pour inclure l'os ;
- Valeur maximale : densité maximale détectée dans le scanner (ou laisser la par défaut si les données sont homogènes).

Puis, il faut cliquer sur « apply » (appliquer) pour appliquer ce seuil au masque (Fig. 6).

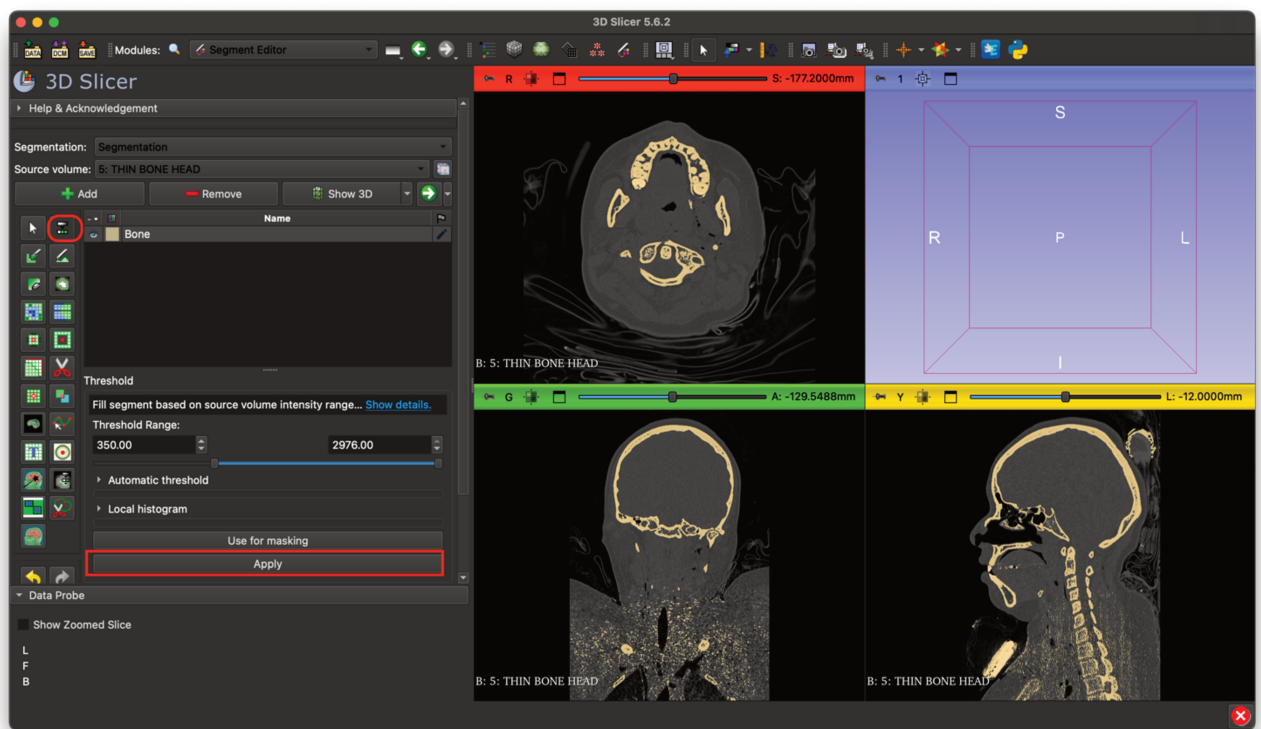


Figure 6 : interface 3D slicer, application d'un seuil de densité [illustration personnelle]

Après cette étape, le résultat est visualisé en cliquant sur « show 3D » pour générer un rendu 3D préliminaire du crâne (Fig. 7).

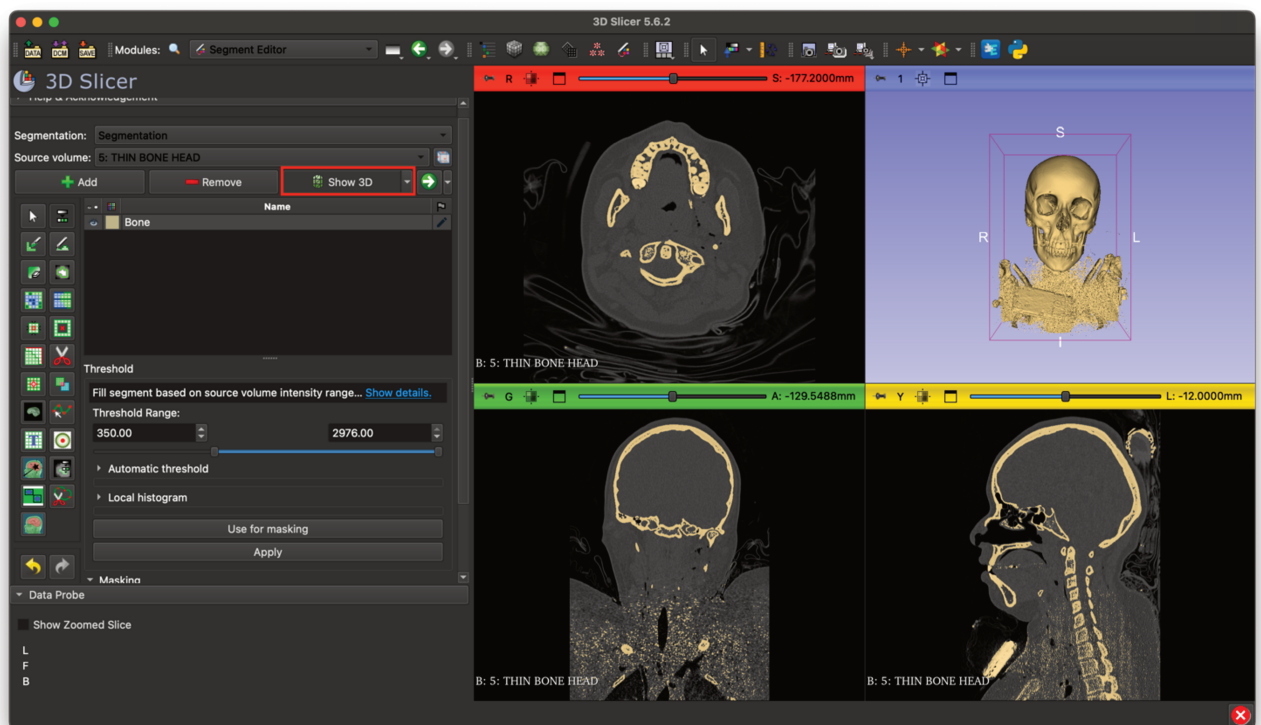


Figure 7 : interface 3D slicer, génération rendu 3D préliminaire [illustration personnelle]

4.4 Nettoyage des artefacts

4.4.1 Utilisation de l'outil Islands

L'outil « islands » est sélectionné dans l'éditeur de segments puis l'option « keep largest islands » (conserver la plus grande île) est choisie. Cela permet de conserver uniquement le plus grand segment correspondant généralement au crâne et d'éliminer automatiquement les petites structures indésirables (Fig. 8).

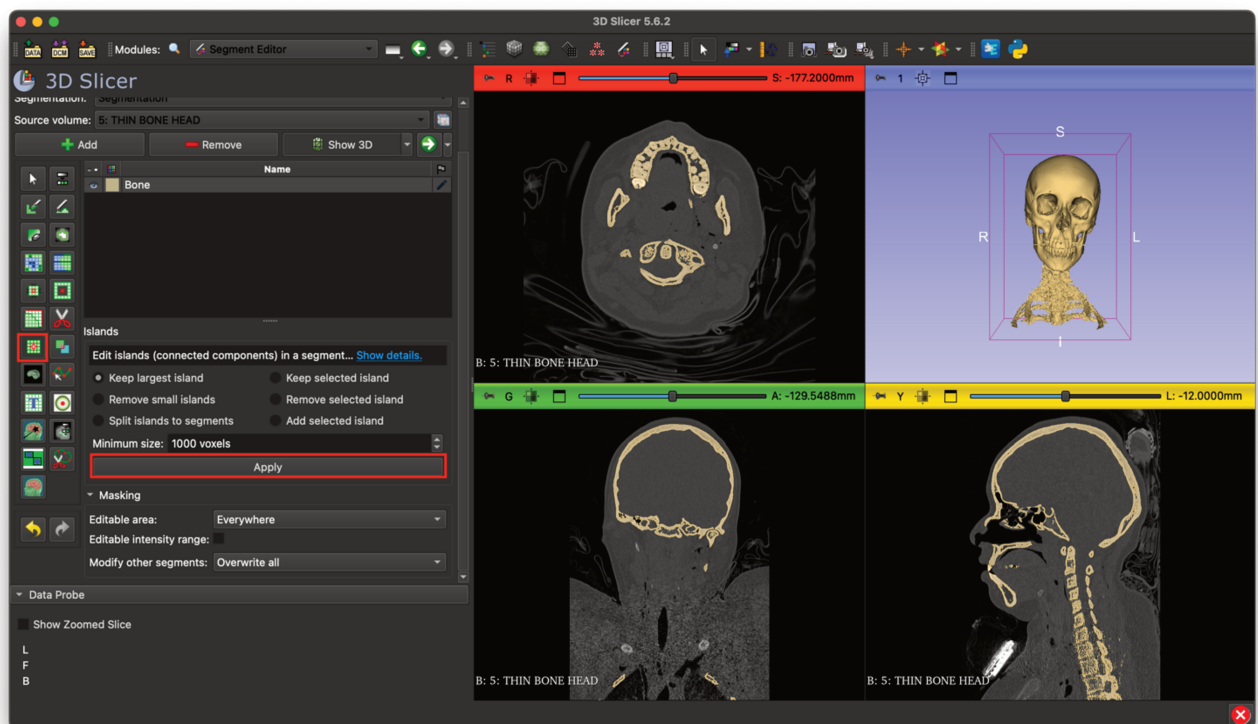


Figure 8 : interface 3D slicer, outil "keep largest islands" [illustration personnelle]

4.4.2 Suppression des petits artefacts

Toujours dans l'outil « islands », l'outil « remove small islands » (supprimer les petites îles) est sélectionné. Une taille seuil pour la suppression basée sur le volume de voxels est alors définie. Il faut ensuite commencer par définir la taille minimale à 10 000 voxels, puis réduire progressivement ce seuil si nécessaire pour éliminer les plus petits artefacts (Fig. 9).

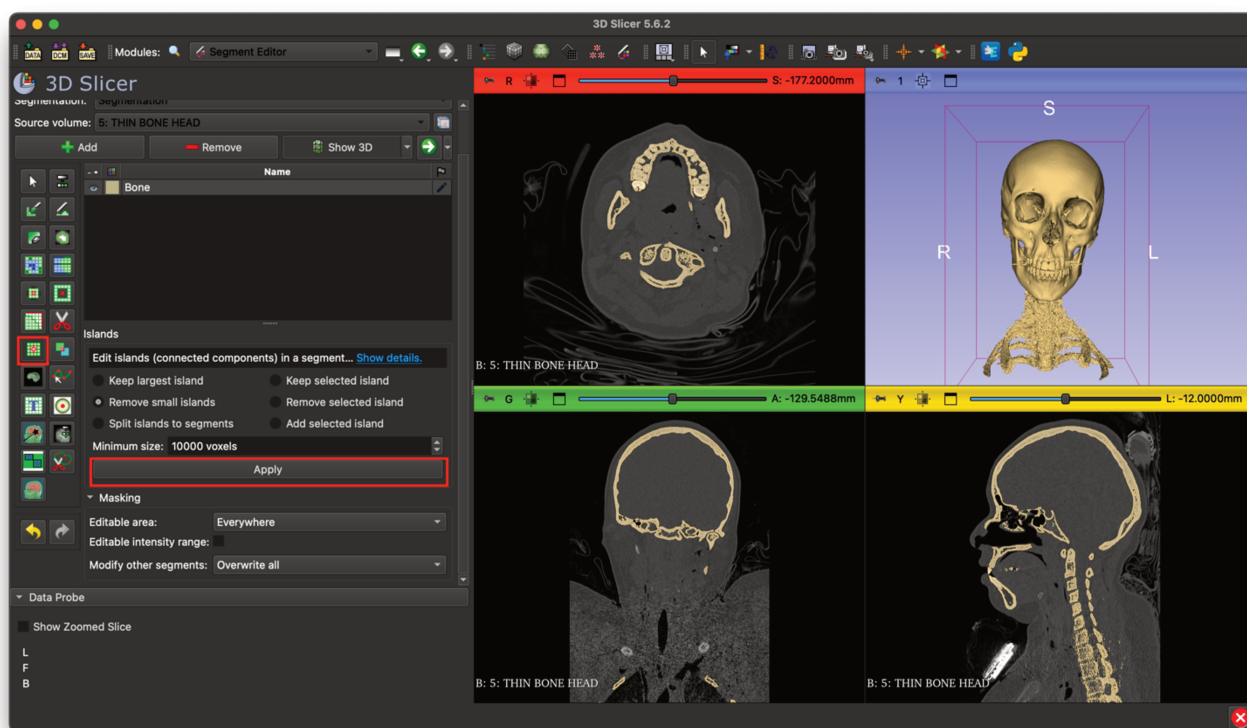


Figure 9 : interface 3D slicer, outil “remove small islands” [illustration personnelle]

4.4.3 Retouches manuelles avec Scissor et Erase

L’outil « scissor » (ciseau) est utilisé pour découper les artefacts restants ou éliminer des zones spécifiques. Cet outil fonctionne comme un lasso (Fig. 10,11).

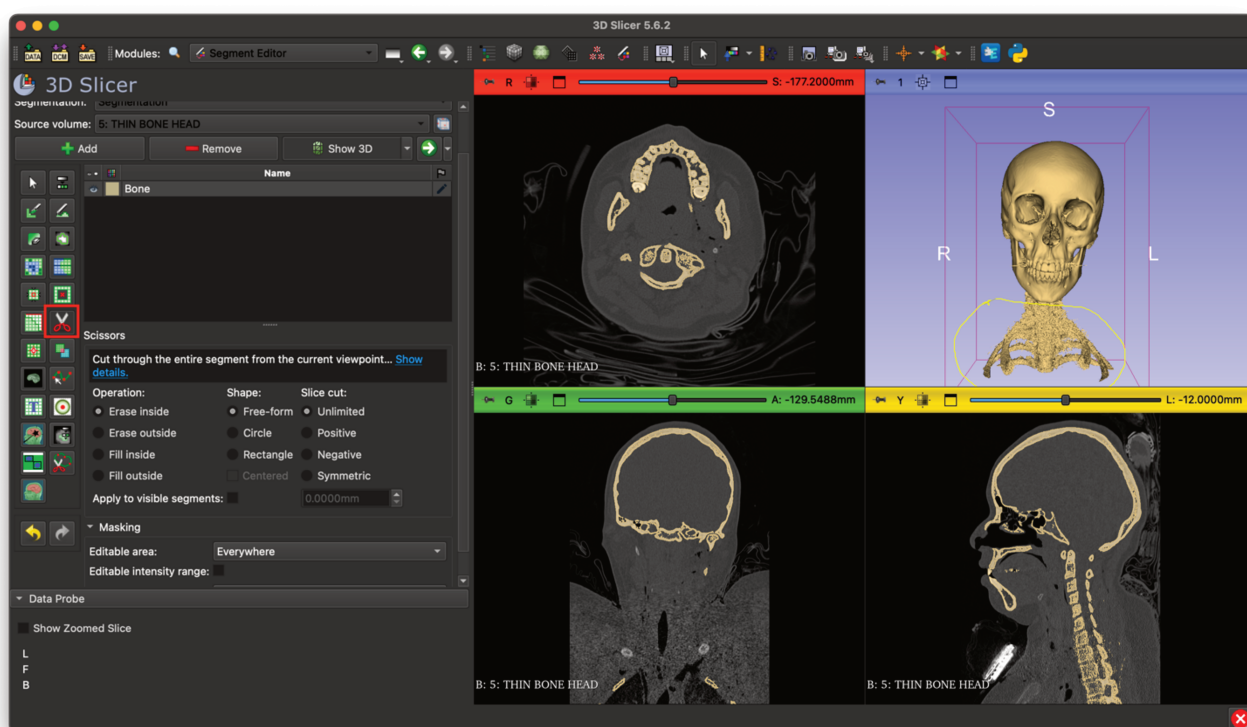


Figure 10 : interface 3D slicer, outil “scissor” [illustration personnelle]

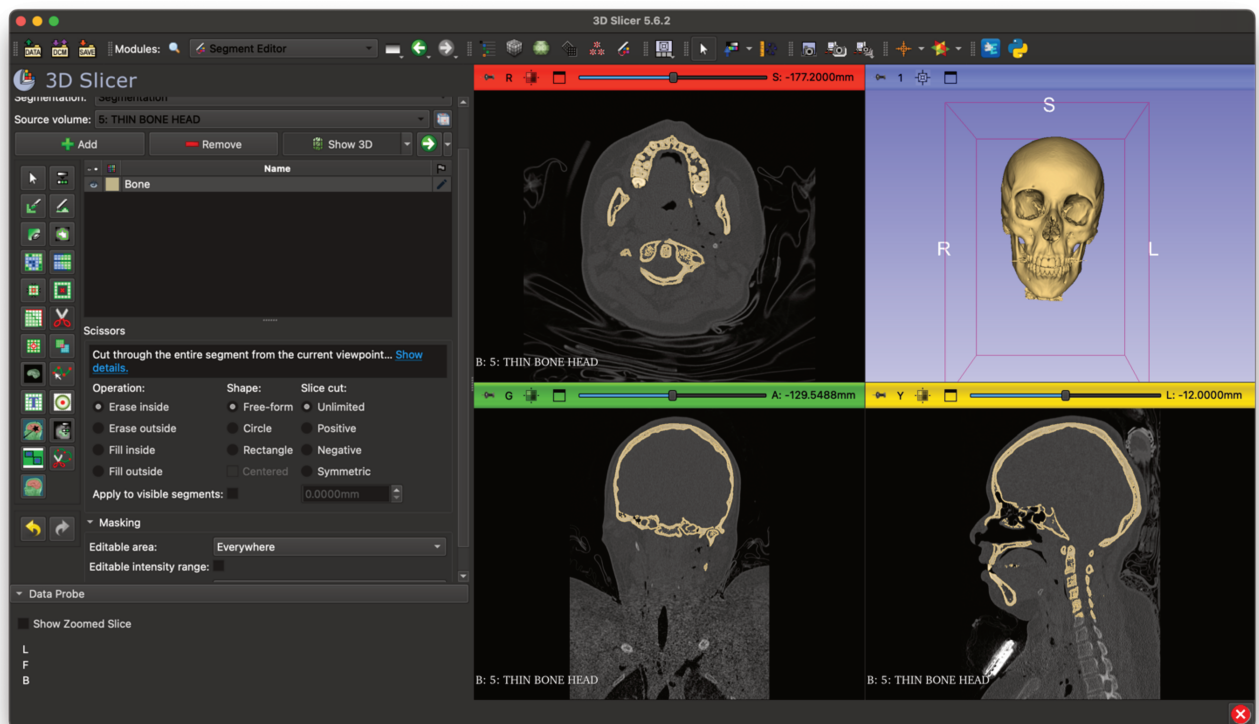


Figure 11 : interface 3D slicer, après utilisation de l'outil "scissor" [illustration personnelle]

Pour des ajustements encore plus précis, l'outil « erase » (gomme) est utilisé pour supprimer les petites zones indésirables (Fig. 12).

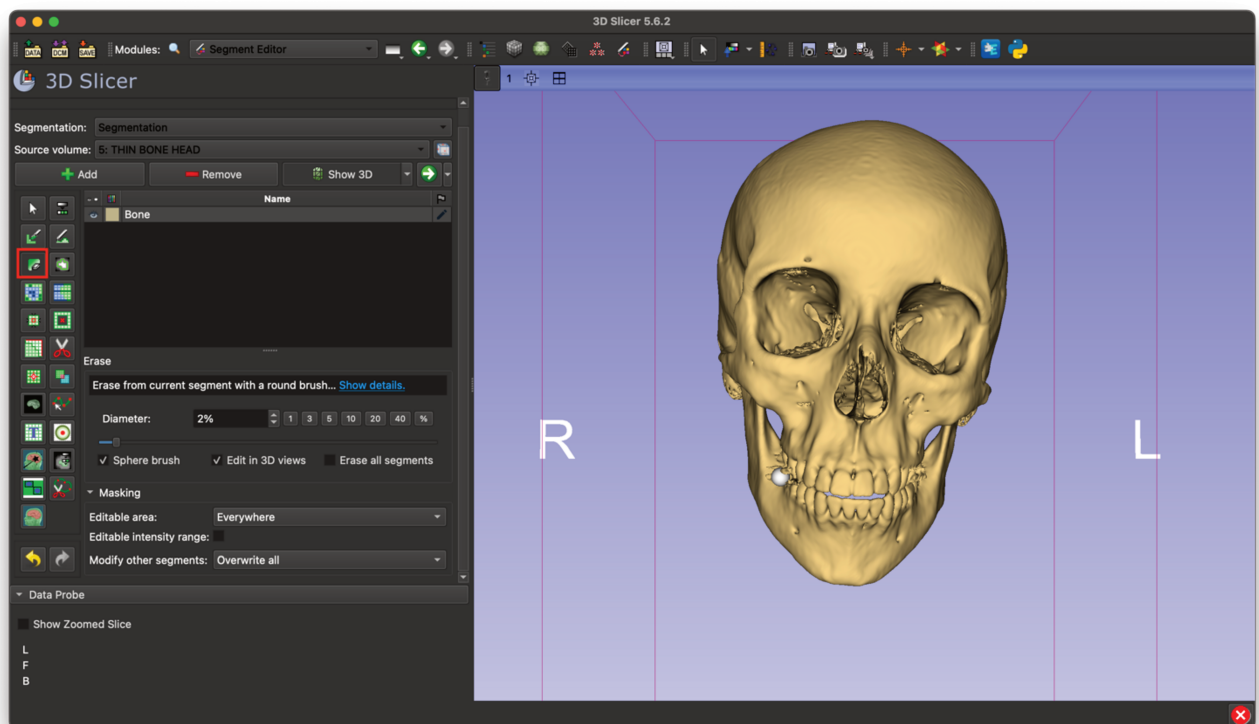


Figure 12 : interface 3D slicer, utilisation outil "erase" [illustration personnelle]

4.5 Création du marquage des points

Dans l'onglet « markups », « point list » permet de créer une liste de points (Fig. 13). Par défaut la liste sera nommée « F » suivi d'un numéro. La liste peut être renommée si besoin.

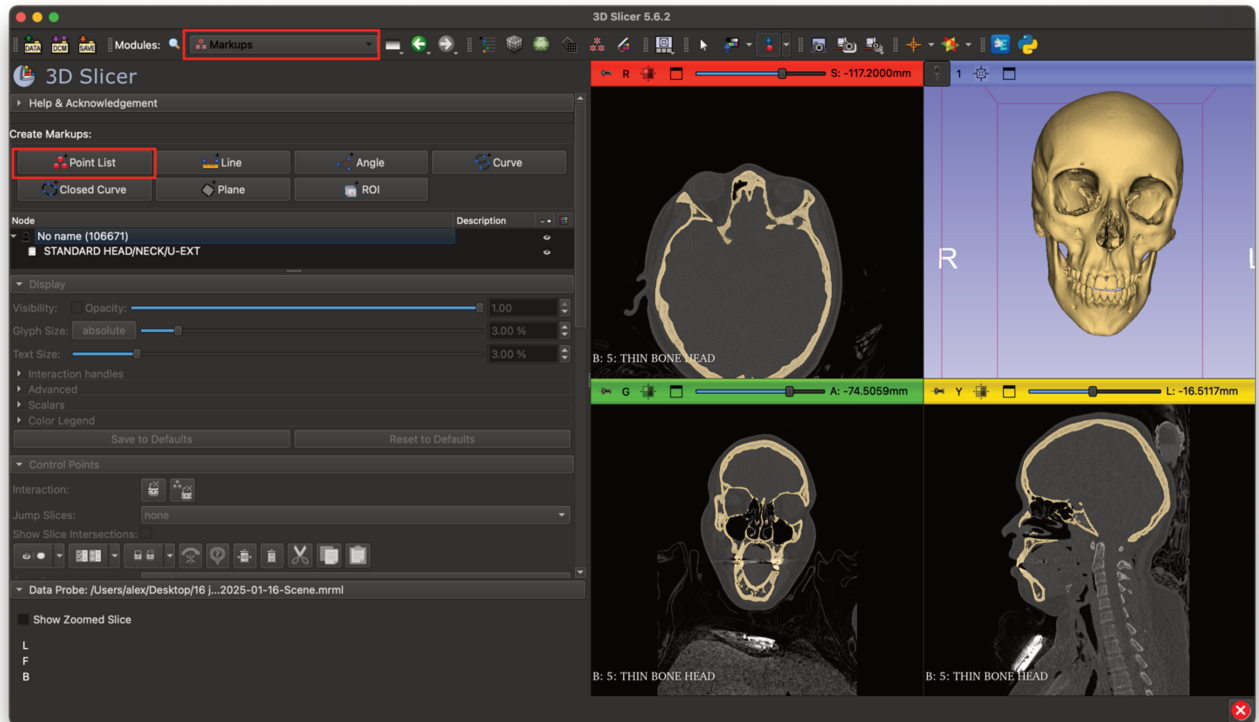


Figure 13 : interface 3D slicer, utilisation outil “markups” [illustration personnelle]

Des points sont ajoutés directement sur le modèle 3D en cliquant sur la zone souhaitée de la segmentation du crâne. Chaque point apparaît sous la forme d'une petite sphère colorée, numérotée selon l'ordre de placement. Le positionnement des points est affiné en sélectionnant un point dans la liste ou directement sur la vue 3D. Les outils de déplacement sont utilisés pour ajuster leur position en se référant aux vues axiale, sagittale et coronale. Il faut alors s'assurer que chaque point correspond exactement à la structure anatomique ou à la région d'intérêt. Pour finir, la couleur, la taille, l'opacité des points sont ajustés dans l'onglet « markups » pour améliorer la lisibilité sur le modèle (Fig. 14).

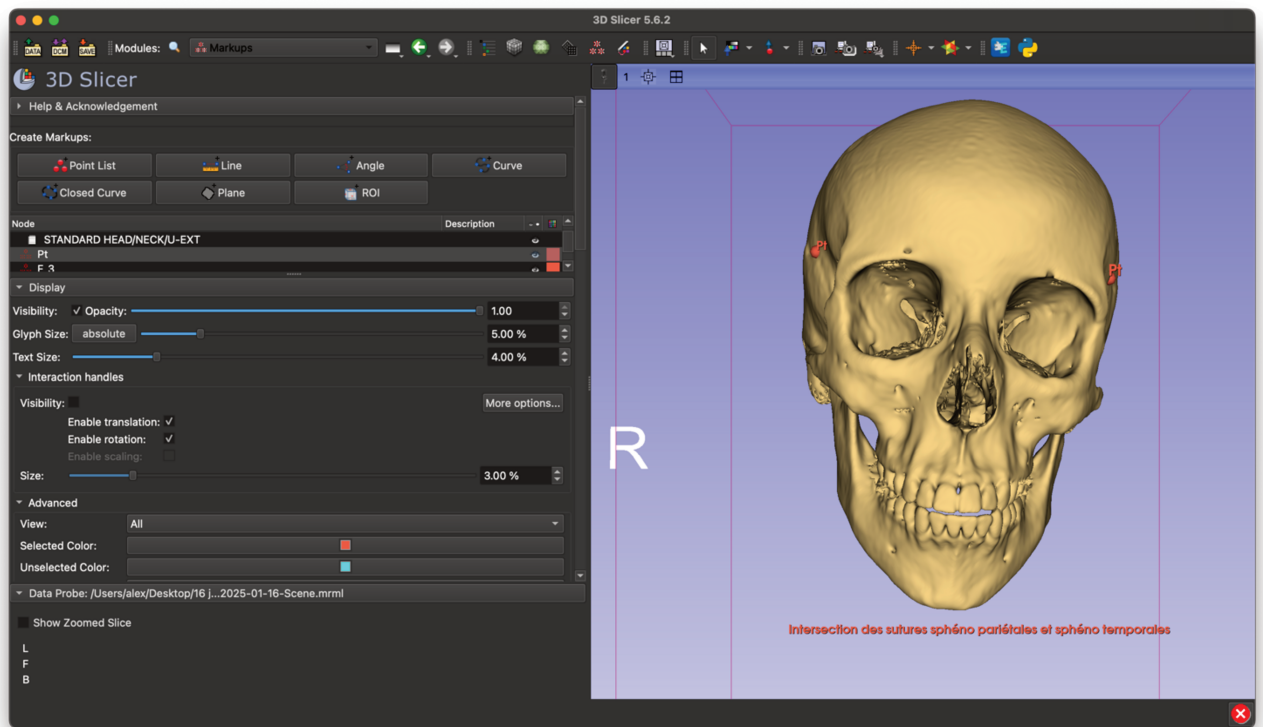


Figure 14 : interface 3D slicer, placement des points avec définition [illustration personnelle]

4.6 Exporter le fichier

L'exportation du fichier s'effectue en cliquant sur le bouton « save » (Fig. 15). Une fenêtre s'ouvre avec une liste de fichiers du projet. Il faut choisir l'emplacement où enregistrer les fichiers tout en choisissant le format (Fig. 16).

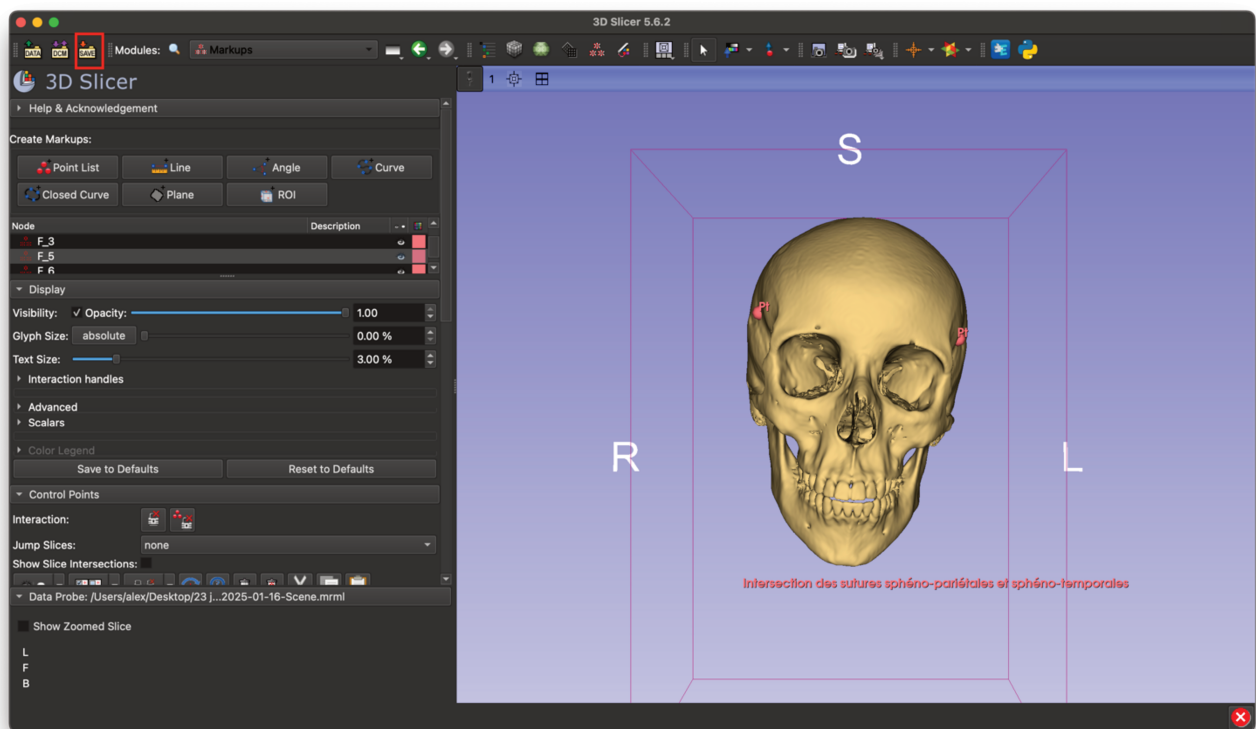


Figure 15 : interface 3D slicer, sauvegarde [illustration personnelle]

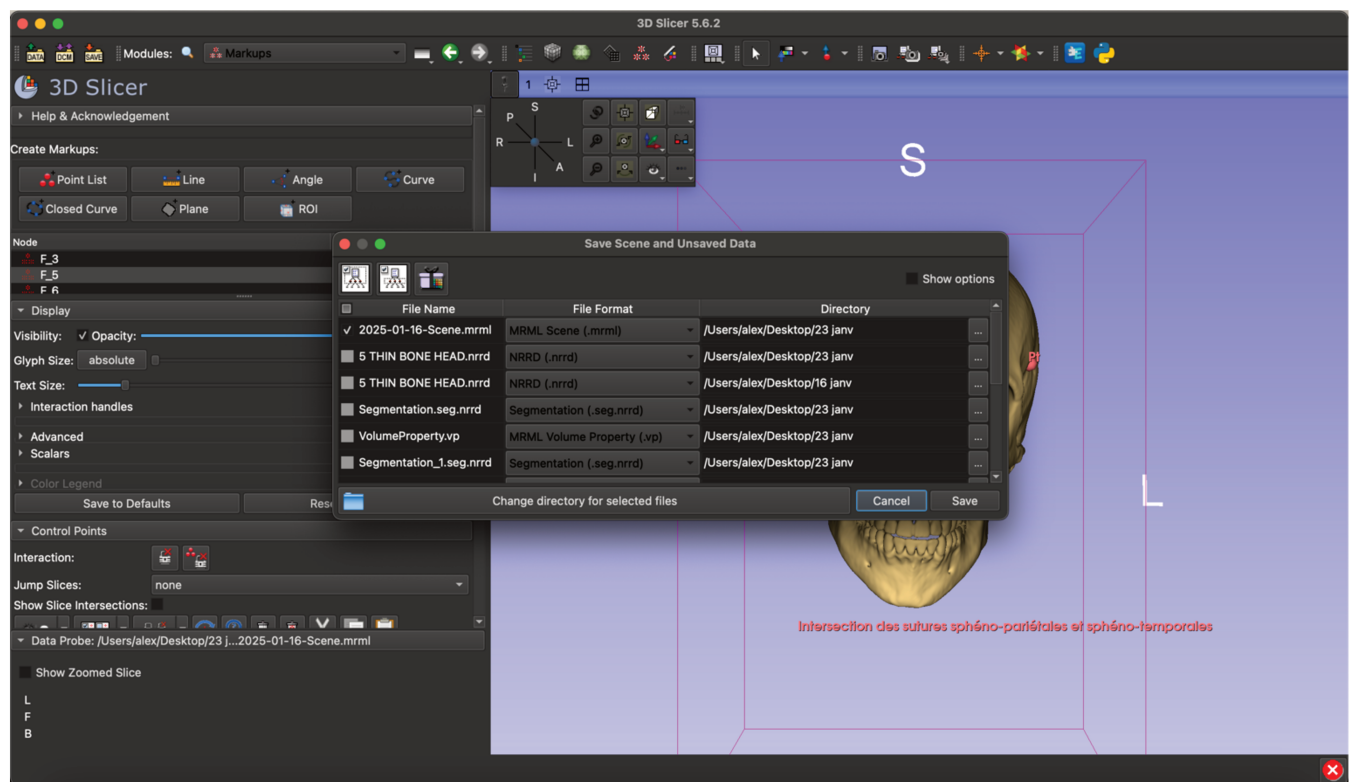


Figure 16 : interface 3D slicer, emplacement de la sauvegarde et choix du format [illustration personnelle]

5 Diffusion

LillePod est la plateforme choisie pour diffuser les vidéos. Cette plateforme a été développée par l'Université de Lille pour faciliter la diffusion de vidéos. Ainsi, elle favorise l'utilisation des vidéos pour la recherche et l'enseignement. Toute personne identifiée peut poster, sur le site, des fichiers audio et vidéo qui sont ensuite encodés par la plateforme. Par défaut, les vidéos sont accessibles à tous. L'accès peut être restreint aux utilisateurs authentifiés ou à ceux disposant du mot de passe défini lors de la mise en ligne. Elles peuvent être consultées selon différents critères : chaîne, auteur, type ou mots-clé. Un système de filtre permet également de trier et d'affiner la liste de vidéos disponibles. Une fois la vidéo en ligne, elle devient accessible sur la plateforme et peut être diffusée selon plusieurs modalités : code d'intégration, lien de partage ou QR code. Voici un lien direct ainsi qu'un QR code propre à chaque vidéo. Le mot de passe d'accès aux vidéos est : « **cephalometrie25** ».



Figure 17 : QR code de la vidéo pédagogique du point ptérion

<https://pod.univ-lille.fr/video/42306-pterion/>



Figure 18 : QR code de la vidéo pédagogique du point ENA

<https://pod.univ-lille.fr/video/42307-epine-nasale-anterieure/>



Figure 19 : QR code de la vidéo pédagogique du point 'ENP'

<https://pod.univ-lille.fr/video/42308-epine-nasale-posterieure/>



Figure 20 : QR code de la vidéo pédagogique du point sella

<https://pod.univ-lille.fr/video/42309-sella/>



Figure 21 : QR code de la vidéo pédagogique du point nasion

<https://pod.univ-lille.fr/video/42311-nasion/>



Figure 22 : QR code de la vidéo pédagogique du point A

<https://pod.univ-lille.fr/video/42313-point-a/>



Figure 23 : QR code de la vidéo pédagogique du point B

<https://pod.univ-lille.fr/video/42314-point-b/>



Figure 24 : QR code de la vidéo pédagogique du point pogonion

<https://pod.univ-lille.fr/video/42315-pogonion/>



Figure 25 : QR code de la vidéo pédagogique du point gnathion

<https://pod.univ-lille.fr/video/42316-gnathion/>



Figure 26 : QR code de la vidéo pédagogique du point menton

<https://pod.univ-lille.fr/video/42317-menton/>



Figure 27 : QR code de la vidéo pédagogique du point gonion

<https://pod.univ-lille.fr/video/42318-gonion/>



Figure 28 : QR code de la vidéo pédagogique du point basion

<https://pod.univ-lille.fr/video/42319-basion/>



Figure 29 : QR code de la vidéo pédagogique du point condylion

<https://pod.univ-lille.fr/video/42320-condylion/>



Figure 30 : QR code de la vidéo pédagogique du point orbital

<https://pod.univ-lille.fr/video/42321-orbital/>



*Figure 31 : QR code de la vidéo pédagogique
du point porion*

<https://pod.univ-lille.fr/video/42322-porion/>



*Figure 32 : QR code de la vidéo pédagogique
du résumé des principaux points
céphalométriques*

<https://pod.univ-lille.fr/video/42323-recap-points-cephalometriques/>

6 Discussion

6.1 Avantage de l'élaboration d'un outil pédagogique interactif

Plusieurs études ont montré que les supports interactifs peuvent améliorer la compréhension et l'assimilation de connaissances en facilitant la visualisation de structures complexes [4,22]. L'apprentissage multimodal combine des éléments visuels, auditifs et interactifs. Il permet une meilleure rétention des informations par rapport aux supports en 2D [23].

Les outils interactifs favorisent également un apprentissage actif correspondant aux principes de pédagogies modernes basées sur l'expérience et l'engagement des étudiants [24]. 3D Slicer permet une exploration dynamique avec la manipulation des structures ce qui améliore la perception spatiale des points céphalométriques [25].

Ces outils développent le travail en autonomie des étudiants. Chaque utilisateur peut avancer à son propre rythme et revoir des notions en fonction des difficultés rencontrées [26].

6.2 Limites

Initialement, l'objectif était que les étudiants puissent interagir directement avec le modèle 3D au travers du logiciel 3D Slicer. Toutefois, cette approche a plusieurs contraintes. D'une part, il suppose que l'apprenant sache se servir un minimum de ce logiciel, ce qui peut constituer un premier frein [27]. D'autre part, 3D Slicer requiert un ordinateur suffisamment puissant ce qui n'est pas toujours le cas pour l'ensemble des étudiants. L'installation du logiciel et le chargement des fichiers risquent de décourager ou de perdre une partie des utilisateurs. La réalisation de vidéos pédagogiques semblait être le meilleur choix vers lequel s'orienter. Les vidéos sont plus simples d'accès et ne nécessitent aucune compétence technique ou installation spécifique. Ce changement s'est imposé suite aux difficultés rencontrées lors de la tentative d'élaboration de fichiers 3D présentant les points. L'ajout des points céphalométriques sur un modèle 3D nécessite de fusionner ces derniers avec le crâne via des scripts exécutés dans la console Python de 3D Slicer. Faute de résultats satisfaisants lors des premiers essais, cette piste a été écartée au profit de la solution vidéo.

6.3 Perspectives d'amélioration

À l'avenir, les supports interactifs pourraient être couplés à la réalité virtuelle ou augmentée pour avoir encore une meilleure immersion [28]. En outre, le développement de l'intelligence artificielle pourrait rendre possible l'automatisation du placement des points céphalométriques et ainsi simplifier l'apprentissage et la précision des points [29].

L'objectif est d'intégrer ces supports interactifs de manière complémentaire aux méthodes traditionnelles afin de préparer les étudiants à leur pratique clinique et d'optimiser l'acquisition de compétences.

Enfin, l'extension de cette approche à d'autres domaines de l'Odontologie, comme la planification implantaire ou la chirurgie orthognathique, ouvrirait de nouvelles perspectives d'application.

7 Conclusion

Pour conclure la réalisation de ce support permettra aux futurs étudiants d'aborder les notions de céphalométrie de manière plus concrète.

L'outil pédagogique est adapté à tous les étudiants car il peut être inclus dans la formation initiale via les cours de sciences anatomiques ou encore d'orthopédie dento-faciale.

En odontologie, les nouvelles technologies permettent de compléter les différentes méthodes d'apprentissage et permettent une approche novatrice.

Dans le futur, si l'utilisation de la réalité virtuelle dans les cours d'anatomie en odontologie voyait le jour, ne permettrait-elle pas une meilleure compréhension des structures anatomiques ?

Table des illustrations

Figure 1 : pyramide d'apprentissage de Dale [3]

Figure 2 : schéma des différents modes d'apprentissage [5]

Figure 3 : interface 3D slicer pour importer le scanner [illustration personnelle]

Figure 4 : interface 3D slicer, après importation du scanner [illustration personnelle]

Figure 5 : interface 3D slicer, création du masque [illustration personnelle]

Figure 6 : interface 3D slicer, application d'un seuil de densité [illustration personnelle]

Figure 7 : interface 3D slicer, génération rendu 3D préliminaire [illustration personnelle]

Figure 8 : interface 3D slicer, outil "keep largest islands" [illustration personnelle]

Figure 9 : interface 3D slicer, outil "remove small islands" [illustration personnelle]

Figure 10 : interface 3D slicer, outil "scissor" [illustration personnelle]

Figure 11 : interface 3D slicer, après utilisation de l'outil "scissor" [illustration personnelle]

Figure 12 : interface 3D slicer, utilisation outil "erase" [illustration personnelle]

Figure 13 : interface 3D slicer, utilisation outil "markups" [illustration personnelle]

Figure 14 : interface 3D slicer, placement des points avec définition [illustration personnelle]

Figure 15 : interface 3D slicer, sauvegarde [illustration personnelle]

Figure 16 : interface 3D slicer, emplacement de la sauvegarde et choix du format [illustration personnelle]

Figure 17 : QR code de la vidéo pédagogique du point ptérion

Figure 18 : QR code de la vidéo pédagogique du point ENA

Figure 19 : QR code de la vidéo pédagogique du point 'ENP

Figure 20 : QR code de la vidéo pédagogique du point sella

Figure 21 : QR code de la vidéo pédagogique du point nasion

Figure 22 : QR code de la vidéo pédagogique du point A

Figure 23 : QR code de la vidéo pédagogique du point B

Figure 24 : QR code de la vidéo pédagogique du point pogonion

Figure 25 : QR code de la vidéo pédagogique du point gnathion

Figure 26 : QR code de la vidéo pédagogique du point menton

Figure 27 : QR code de la vidéo pédagogique du point gonion

Figure 28 : QR code de la vidéo pédagogique du point basion

Figure 29 : QR code de la vidéo pédagogique du point condylion

Figure 30 : QR code de la vidéo pédagogique du point orbital

Figure 31 : QR code de la vidéo pédagogique du point porion

Figure 32 : QR code de la vidéo pédagogique du résumé des principaux points céphalométriques

Références bibliographiques

1. Sicher H, DuBrul EL. Oral anatomy. 6th ed. St. Louis: Mosby; 1975.
2. Björk A. Variations in the growth pattern of the human mandible: Longitudinal radiographic study by the implant method. *Journal of Dental Research*. 1963;42(1):400-11.
3. Dale E. Audio-visual methods in teaching. 3rd ed. New York: Dryden Press; 1969.
4. Mayer RE. Multimedia learning. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2009.
5. Dale E. The cone of experience. In: Audio-visual methods in teaching. 3rd ed. New York: Dryden Press; 1969. p. 108–20.
6. Fleming ND. VARK: A guide to learning styles. Christchurch: Bonwell and Associates; 1992.
7. Laurillard D. Teaching as a design science: building pedagogical patterns for learning and technology. London: Routledge; 2012.
8. Fedorov A., Beichel R., Kalpathy Cramer J., Finet J., Fillion Robin J-C., Pujol S., Bauer C., Jennings D., Fenessy F., Sonka M., Buatti J., Aylward S.R., Miller J.V., Pieper S., Kikinis R. 3D Slicer as an Image Computing Platform for the Quantitative Imaging Network. *Magnetic Resonance Imaging*. 2012 Nov;30(9):1323-41. PMID: 22770690
Site : <https://www.slicer.org>
9. Piaget J. The science of education and the psychology of the child. New York: Viking; 1970.
10. Siemens G. Connectivism: a learning theory for the digital age [Internet]. elearnspace; 2005 [cited 2025 Jan 21]. Available from: <http://www.elearnspace.org/Articles/connectivism.htm>.
11. Kolb DA. Experiential learning: experience as the source of learning and development. Englewood Cliffs: Prentice Hall; 1984.
12. Étude sur l'efficacité des démonstrations interactives en chirurgie orale. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2015;120(5):e135.
13. Paivio A. Mental representations: a dual coding approach. New York: Oxford University Press; 1986.
14. Steiner CC. Cephalometrics for you and me. *American Journal of Orthodontics*. 1953;39(10):729-55.
15. Delaire J. Analyse céphalométrique fonctionnelle et morphologique en orthopédie dento-faciale. *Rev Orthop Dento Faciale*. 1978;12(1):17-32.
16. Tweed CH. The Frankfort-mandibular incisor angle (FMIA) in orthodontic diagnosis, treatment planning, and prognosis. *Angle Orthodontist*. 1954;24(3):121-69.

17. McNamara JA. A method of cephalometric evaluation. *American Journal of Orthodontics*. 1984;86(6):449-69.
18. Ricketts RM. Perspectives in the clinical application of cephalometrics. *Angle Orthodontist*. 1961;31(3):141-56.
19. Broadbent BH. A new X-ray technique and its application to orthodontia. *Angle Orthodontist*. 1931;1(2):45-66.
20. Broadbent BH. A new X-ray technique and its application to orthodontia. *Angle Orthodontist*. 1931;1(2):45-66.
21. Downs WB. Variations in facial relationships: their significance in treatment and prognosis. *American Journal of Orthodontics*. 1948;34(10):812-40.
22. Brenton H, Hernandez J, Bello F, Strutton P, Purkayastha S, Firth T, et al. Using multimedia and Web3D to enhance anatomy teaching. *Comput Educ*. 2007;49(1):32-53.
23. Dalgarno B, Lee MJW. What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *Br J Educ Technol*. 2010;41(1):10-32.
24. Dede C. Immersive interfaces for engagement and learning. *Science*. 2009;323(5910):66-9.
25. Cook DA, Levinson AJ, Garside S, Dupras DM, Erwin PJ, Montori VM. Internet-Based Learning in the Health Professions: A Meta-analysis. *JAMA*. 2008;300(10):1181-96.
26. Park S, Kim Y, Kim H, Lee Y. Development and application of a 3D digital cephalometric analysis system. *Korean J Orthod*. 2015;45(5):226-33.
27. Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, Finet J, Fillion-Robin JC, Pujol S, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn Reson Imaging*. 2012;30(9):1323-41.
28. de Boer IR, Wesselink PR, Vervoorn JM. The creation of virtual teeth with and without pathology: Effect on the perception of dental anatomy. *Eur J Dent Educ*. 2018;22(2):e238-43.
29. Arnett GW, Bergman RT. Facial keys to orthodontic diagnosis and treatment planning—Part I. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1993;103(4):299-312.
30. Edgar H, Daneshvari Berry S, Moes E, Adolphi N, Bridges P, Nolte K. New Mexico Decedent Image Database. Office of the Medical Investigator, University of New Mexico. 2020; Disponible sur: <http://nmdid.unm.edu/>

Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année [2025] –
Développement d'un outil pédagogique interactif : présentation 3D des points céphalométriques pour les étudiants en odontologie Alexandre LIÉVOIS. - p. (42) : ill. (32) ; réf. (30). <u>Domaines</u> : anatomie dentaire Mots clés Libres : vidéos pédagogiques, point céphalométrique, anatomie dentaire
Résumé de la thèse en français Les vidéos pédagogiques réalisées permettent de faciliter l'apprentissage de la céphalométrie aux étudiants en odontologie. Chaque vidéo présente un point céphalométrique, localisé dans un premier temps sur un modèle de crâne en 3D matérialisé avec 3D Slicer, puis dans un second temps sur des coupes dans les trois plans de l'espace. Cette visualisation dynamique permet une meilleure compréhension de la localisation spatiale des points, plus difficile à appréhender sur des supports 2D classiques. Ces vidéos s'intègrent dans une démarche d'enseignement multimodal en répondant aux différents profils d'apprentissage. Elles sont accessibles aux étudiants via la plateforme LillePod.
<u>JURY</u> : Président : Monsieur le Professeur Thomas COLARD Assesseurs : Monsieur le Docteur Philippe ROCHER Madame le Docteur Mathilde SAVIGNAT <u>Madame le Docteur Amélie de BROUCKER</u>