

# MODELISATION 3D DE LA FOSSE LATÉRALE DU CERVEAU (VALLÉE SYLVIENNE) PAR RECONSTRUCTION TRIDIMENSIONNELLE MANUELLE : APPLICATION DIDACTIQUE EN ANATOMIE

## 3D MODELING OF THE LATERAL FOSSA OF THE BRAIN (SYLVIAN VALLEY) BY MANUAL THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION: DIDACTIC APPLICATION IN ANATOMY

WADE-KANE R.<sup>1</sup>, GAYE M.<sup>1</sup>, NDIAYE Aï.<sup>1</sup>, MAR NB.<sup>4</sup>, UHL JF.<sup>2</sup>, BA S.<sup>3</sup>, DIOP M.<sup>1</sup>, NDOYE JM.<sup>1</sup>, NDIAYE Ab.<sup>1</sup>

1. Laboratoire d'Anatomie et d'Organogenèse. Faculté de Médecine de Pharmacie et d'Odontologie. UCAD, Dakar, Sénégal

2. Département d'Anatomie, Université de Paris (ex Descartes), Paris, France

3. Centre de Diagnostic et d'Imagerie médicale, Centre hospitalier national universitaire de Fann, Dakar, Sénégal

4. Service D'anatomie; UFR 2S Université Iba Der THIAM de Thies.

### RESUME

**Objectif** : L'objectif de notre étude était de réaliser un outil didactique valide d'une région anatomique complexe qui est la fosse latérale du cerveau (FLC) ou vallée sylvienne sous forme de modèle tridimensionnel (3D) interactif ; et de déterminer les avantages de l'utilisation d'outils 3D anatomiques didactiques complémentaires à la technique classique d'enseignement de l'Anatomie.

**Sujets et méthode** : Les images d'IRMc utilisées pour la reconstruction 3D manuelle du cerveau proviennent d'une femme de 34 ans à l'aide d'une IRM 1,5 Tesla. Elles étaient constituées de 256 images en pondération T1, en coupe frontale, après injection de gadolinium. L'épaisseur des coupes était de 1 mm. Nous avons procédé à la segmentation du cerveau coupe après coupe par contourage manuel à l'aide du logiciel Winsurf® version 4.3 et en tenant compte des limites de la FLC. Dans une dernière étape nous avons élaboré l'interface 3Dpdf pour exploiter de manière interactive le modèle 3D construit.

**Résultats** : Une revue de la littérature au préalable sur l'entité anatomique à modéliser conditionne une segmentation manuelle juste afin d'obtenir un modèle 3D anatomique valide. Le modèle 3D construit a fourni les illustrations 3D pertinentes pour l'exposition de la FLC, la situation de cette région et pour l'étude de la forme et des limites. Le rendu du modèle était de qualité égale à celui des illustrations issues des images d'IRMc en 2D. Seul les segments M1 et M2 de l'artère cérébrale moyenne ont pu être reconstruits.

**Conclusion** La technique didactique d'Anatomie numérique que nous avons développée ne diffère pas de celle classique et traditionnelle. Elle vient la compléter en offrant des avantages notoires pour délivrer succinctement l'information anatomique contenue dans l'outil 3D anatomique.

**Mots clés** : Anatomie numérique - Fosse latérale du cerveau - Reconstruction 3D manuelle - Modèle 3D

### ABSTRACT

**Objective:** The objective of our study was to produce a valid didactic tool of a complex anatomical region which is the lateral fossa of the brain (LFB) or sylvian valley in the form of an interactive three-dimensional (3D) model; and to determine the advantages of using didactic anatomical 3D tools complementary to the classical technique of teaching Anatomy.

**Subjects and method:** The cMRI images used for the manual 3D reconstruction

#### Correspondant :

Racky WADE-KANE,  
E-mail : racky.wade@  
hotmail.com, BP : 5885  
Fann-Dakar, 10700 Sénégal.

Soumis : 29/09/2023

Accépté : 06/11/2023

**Citation** : Wade-Kane R.,  
Gaye M., Ndiaye Aï., Uhl  
JF., Ba S., Diop M., Ndoye  
JM., NDIAYE Ab.  
Modélisation 3d de la  
fosse latérale du cer-  
veau (vallée sylvienne)  
par reconstruction tridi-  
mensionnelle manuelle :  
application didactique en  
anatomie.  
JAMO 2023; 8 (2): 27-43.

of the brain were taken from a 34-year-old woman using a 1.5 Tesla MRI scanner. They consisted of 256 T1-weighted frontal slice images after gadolinium injection. The slice thickness was 1 mm. The brain was segmented slice by slice by manual contouring using Winsurf® version 4.3 software, considering the limits of the FLC. In a final step, we developed the 3Dpdf interface to interactively exploit the 3D model constructed.

**Results:** A prior literature review on the anatomical entity to be modelled is a prerequisite for accurate manual segmentation to obtain a valid anatomical 3D model. The 3D model constructed provided the relevant 3D illustrations for the exposure of the FLC, the situation of this region and for the study of its shape and limits. The rendering of the model was of equal quality to that of the illustrations derived from the 2D cMRI images. Only the M1 and M2 segments of the middle cerebral artery could be reconstructed.

**Conclusion** The didactic technique of Digital Anatomy we have developed is no different from the traditional one. It complements it by offering significant advantages for succinctly delivering the anatomical information contained in the 3D anatomical tool.

**Keywords:** Digital anatomy - Lateral fossa of the brain - Manual 3D reconstruction - 3D model

---

## INTRODUCTION

L'Anatomie est une discipline médicale fondamentale qui occupe une place prépondérante dans la formation des futurs médecins. L'objectif de son enseignement est de fournir les bases indispensables à la compréhension de l'examen clinique, de l'imagerie moderne puis des traitements interventionnels ou chirurgicaux. Les cours magistraux sont présentés par des schémas dessinés au tableau, par des schémas sur transparents projetés, par des schémas présentés sur diapositives et par des schémas animés présentés sur diapositives [1]. Les travaux pratiques sont réalisés en utilisant des maquettes et la dissection pédagogique de cadavres. Cependant, la dissection est de moins en moins facile à réaliser dans les universités. En occident, les outils multimédias et 3D sont en plein essor et occupent de jour en jour une place prépondérante dans l'enseignement et la recherche. En Afrique, notamment au Sénégal, l'image mentale sacrée du corps humain datant de l'antiquité prévaut toujours. Le corps humain suscite des interdits et la peur dans l'esprit de la plus grande partie de la population générale. Ainsi, les représentations culturelles, sociales et religieuses rendent presque impraticable la dissection didactique pour les étudiants. Le don de corps est encore inexistant. Les dispositions légales pour utiliser les corps d'autopsie à des fins scientifiques ne sont pas à jour et les familles sont féroceement en garde pour vérifier l'intégrité des corps de leurs défunts proches. Ces obstacles culturels ouvrent la voie à l'anatomie numérique comme nouvelle approche pédagogique de l'Anatomie humaine qui utilise les nouveaux outils multimédias et tridimensionnels (3D). Face à l'avancée incontestable et inévitable de l'Anatomie numérique [2], les anatomistes se doivent de collaborer avec les informaticiens et mathématiciens pour fournir et assurer la bonne information anatomique valide qui doit être contenue dans ces outils modernes.

La fosse latérale du cerveau (FLC) est l'une des régions du cerveau qui est très complexe par sa forme, sa structure et son organisation topographique. Elle est une dépression large située profondément dans le sillon latéral (SL) de chaque hémisphère. Elle était anciennement nommée "vallée sylvienne" en honneur à Franciscus Sylvius (F. De le Boë), anato-

miste, physiologiste et chimiste à l'université de Leyde [3,4]. Elle interpelle plusieurs spécialistes des disciplines de neurosciences à savoir les imagistes, neurologues, neurochirurgiens et psychiatre. Cependant, la région ne fait pas encore l'objet de schémas ni d'illustrations 2D ou 3D lorsqu'elle est abordée en Anatomie, et malgré qu'elle soit décrite comme une entité topographique du cerveau [5] bien délimitée. Ainsi, dans un intérêt didactique actuel, nous proposons de réaliser un outil pédagogique valide de cette région anatomique sous forme de modèle tridimensionnel (3D) interactif ; aussi, de déterminer les avantages de l'utilisation d'outils 3D anatomiques qui sont complémentaires à la technique classique d'enseignement de l'Anatomie.

## MÉTHODOLOGIE

### 1- Cadre de l'étude

La partie d'Anatomie numérique de ce travail a été réalisé au département d'Anatomie de l'Université de Paris (ex-Paris Descartes) et au laboratoire d'Anatomie et d'Organogenèse de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD). Les données d'IRM cérébrale (IRMc) ont été recueillies au Centre de Diagnostic et d'Imagerie Médicale (CDIM) du Centre National Hospitalier Universitaire de Fann (CNHUF).

#### Sujet d'étude de référence

Le modèle de cerveau 3D vectoriel construit est issu de données d'IRMc du sujet de référence NSK. Celui-ci a été défini dans l'étude de Wade et al. [5]. Il correspondait au sujet qui, parmi les 20 sujets, présentait au niveau de ses deux hémisphères cérébraux le plus grand nombre de caractéristiques morphologiques modales de la FLC. Il s'agissait d'une femme, âgée de 34 ans, mariée et mère de famille. Elle exerçait la profession de sage-femme. Son examen d'IRMc était normal. Elle a consenti à l'étude et à être nommée par les initiales de son nom qui donnaient NSK.

### 2- Matériels

Nous avons utilisé une IRM de marque Philips de la gamme Achieva, d'intensité de 1.5 Tesla. Le logiciel Philips DICOM Viewer R1.2 était intégré dans l'ordinateur de la console pour la reconstitution des images, leur traitement et exploitation.

#### La modélisation 3D a nécessité :

- un ordinateur fixe de marque Dell PC modèle Précision T3610 doté d'un processeur Intel® Xeon® 3.7 GHz 3.7 GHz, d'une mémoire RAM de 24.0 Go. Edition Windows 7 professionnel© (Microsoft©) ;
- un ordinateur fixe de marque Apple®, Imac doté d'un processeur IntelCore® i5 3.2 GHz, d'une mémoire RAM de 8 Go, de Mac OS X Yosemite® version 10.10.4 ;
- une tablette graphique et un stylet numérique de marque Wacom Intuos creative pen & touch me® ;
- les logiciels Winsurf® version 4.3 et Acrobat® pro version 9.

### 3- Méthode de Modélisation 3D

Temps d'acquisition des images d'IRMc

Les images d'IRMc utilisées pour la reconstruction 3D ont été fournies par un deuxième examen du sujet de référence défini grâce aux résultats de

la morphologie de la FLC [5]. Elles étaient constituées de 256 images en pondération T1, en coupe frontale, après injection de gadolinium. L'épaisseur des coupes était de 1 mm.

Les paramètres suivants d'acquisition des images, ont été utilisés : le Temps de spin écho était de 3,21 secondes, le temps de récupération de 7,0872 secondes. La taille de l'image était égale à 256X190, la taille de la vue à 2449x1199, WL : 1284 et WW : 1773.

#### Conversion des images

Les fichiers DICOM des 256 images ont été renommés et convertis en format Jpeg, pour être transférés dans le logiciel Winsurf® version 3.5 pour réaliser la segmentation manuelle.

#### Segmentation par contourage manuel à l'aide de Winsurf®

Nous avons effectué successivement :

- le paramétrage de l'échelle x, y et de l'intervalle de coupe du logiciel Winsurf®;
- le contourage et la segmentation de chacune des 256 coupes en utilisant l'outil crayon et une tablette graphique ;
- la reconstruction vectorielle par le logiciel Winsurf® ;
- l'extraction de 2 coupes frontales dont l'une passe par le sommet de l'insula (SI) et la deuxième au niveau du milieu du sillon central de l'insula (SCI)
- l'importation au format 3D pdf dans un dossier et
- l'exportation du modèle de cerveau segmenté en format 3D à l'aide du logiciel Acrobat 9 pro.
- Elaboration de l'interface 3dpdf
- L'élaboration de l'interface 3Dpdf a nécessité :
- la modification de la hiérarchie des structures et de noms à l'aide du logiciel Acrobat 3D toolkit.
- la programmation de l'interface d'Acrobat 3Dpdf au moyen d'Acrobat pro version 11.

#### 4- Considérations éthiques

Notre étude a été approuvée par le Comité d'Éthique de la Recherche (CER) de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Durant notre travail toutes les données ont été recueillies en tenant compte du respect des règles de l'éthique médicale. Le sujet de référence NSK a été informé quant aux procédures et aux objectifs de l'étude. Les protocoles ont été conçus et réalisés en accord avec les recommandations de la déclaration d'Helsinki.

## RÉSULTATS

## 1- Exposition et situation de la FLC

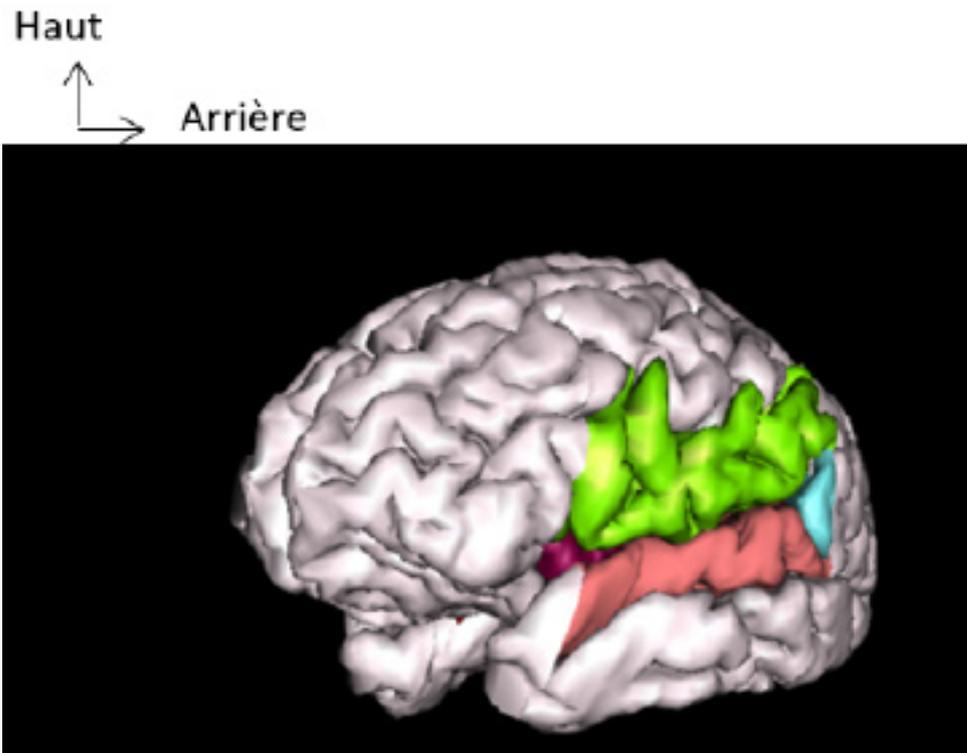


Figure 1 : Vue antéro-latérale de l'Hémisphère cérébral gauche (HCG)

## 2- Illustrations 3D des Formes typiques de la FLC sur 2 niveaux de coupes frontales

La forme modale de type 3 ou en « fourche atypique » de la FLC est illustrée sur la coupe frontale au niveau du SI [fig.2A].

Nous avons retrouvé une forme « indéterminée » sur la coupe frontale au niveau du milieu du SCI [fig.2P].

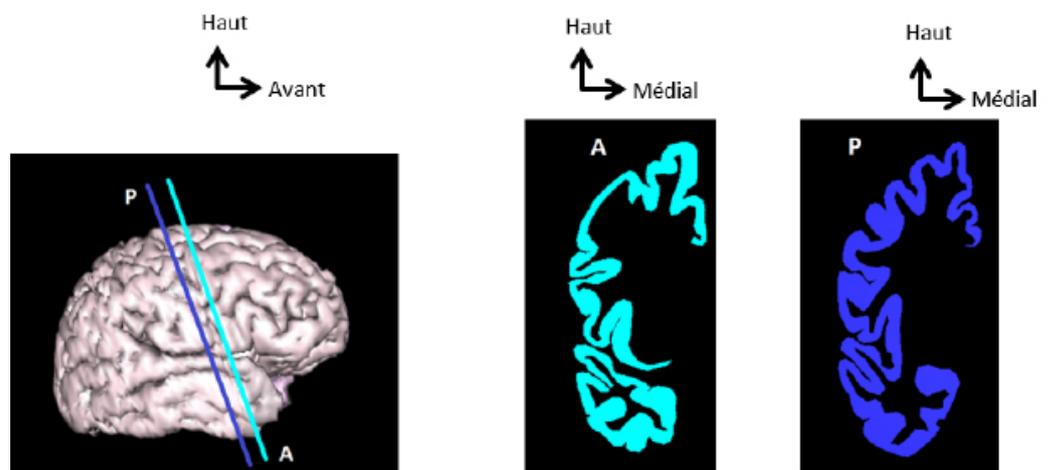


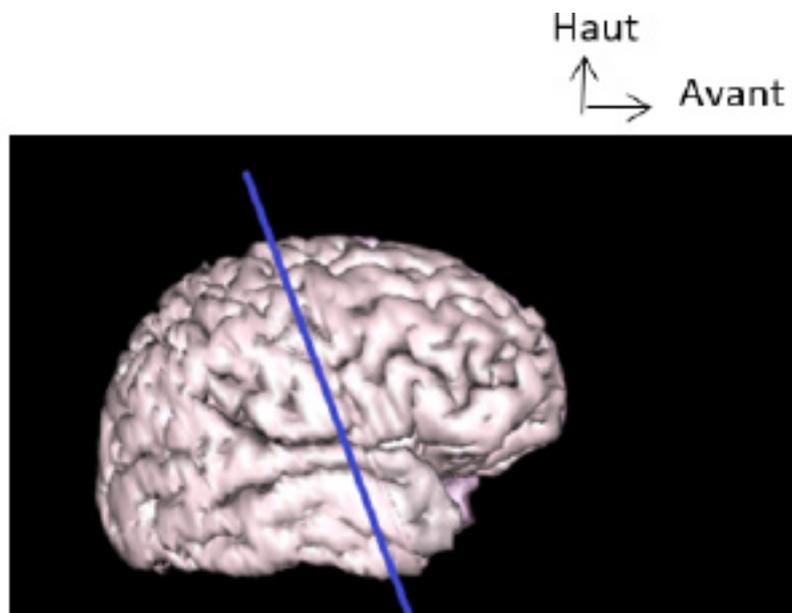
Figure 2 : Coupes frontales de l'hémisphère cérébral droit (HCD) au niveau du SI (A) et du milieu du SCI (P) avec exposition respectivement des formes de type 3 (en fourche atypique) et de la forme indéterminée de la FLC droite

### 3- Illustrations 3D des limites de la FLC

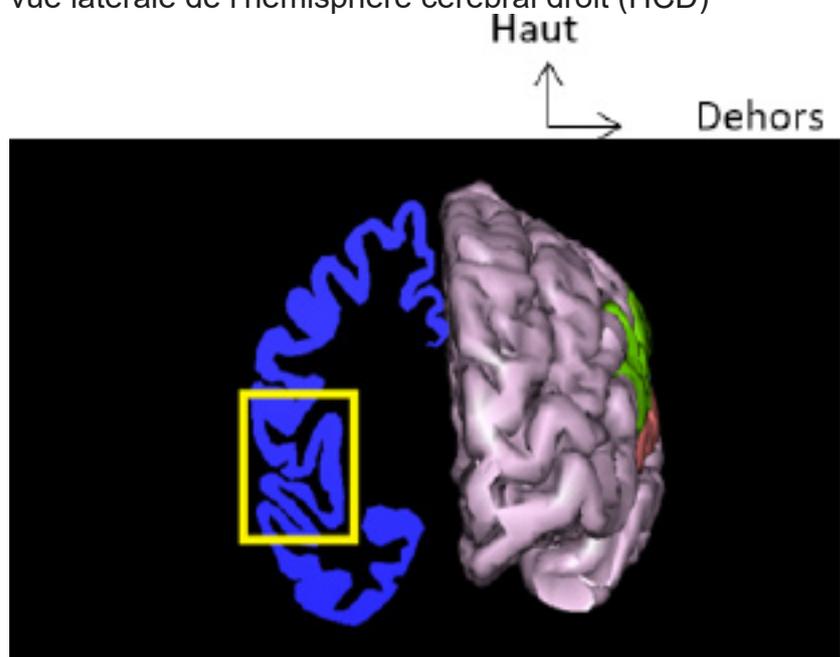
#### 3- 1- Parois de la FLC en 3D

Les parois s'étudient sur une coupe frontale de HCD. Elles sont au nombre de cinq [fig.3C] :

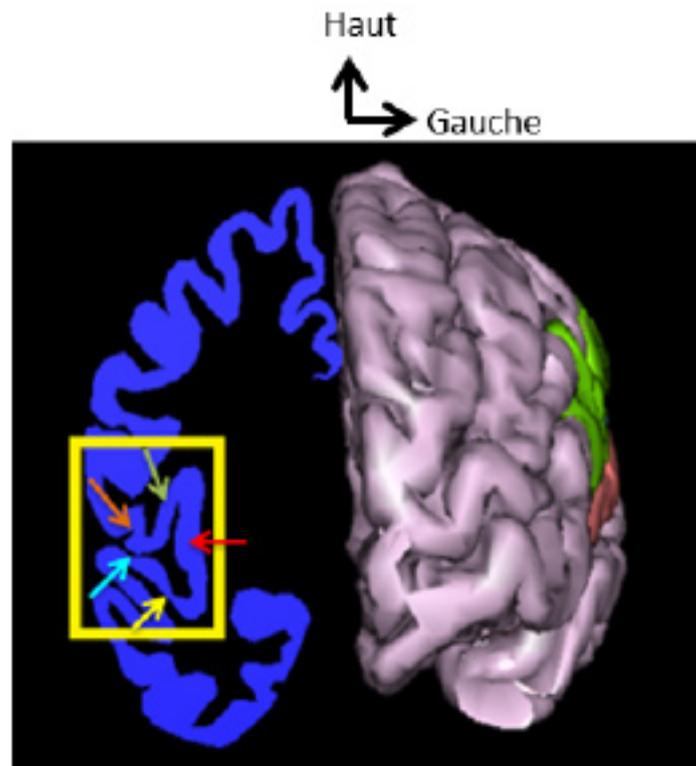
- la paroi supéro-latérale operculaire (PSLO) ;
- la paroi inféro-latérale operculaire (PILO) ;
- la paroi médiale insulaire (PMI) ;
- la paroi supérieure du SL (PSSL) ;
- la paroi inférieure du SL (PISL).



**Figure 3A** : Niveau de coupe frontale (milieu du SCI) de la FLC sur une vue latérale de l'hémisphère cérébral droit (HCD)



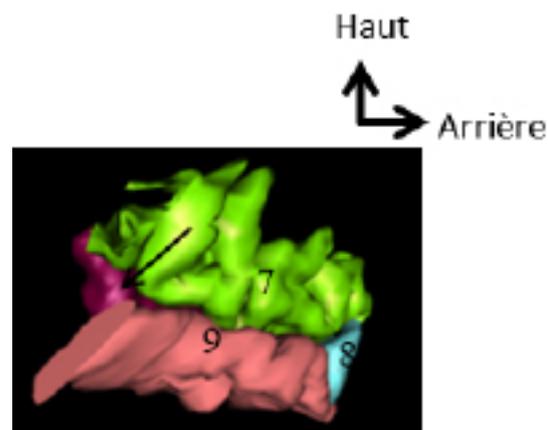
**Figure 3B** : Exposition de la FLC sur une coupe frontale au niveau du milieu du SCI pour l'étude des parois



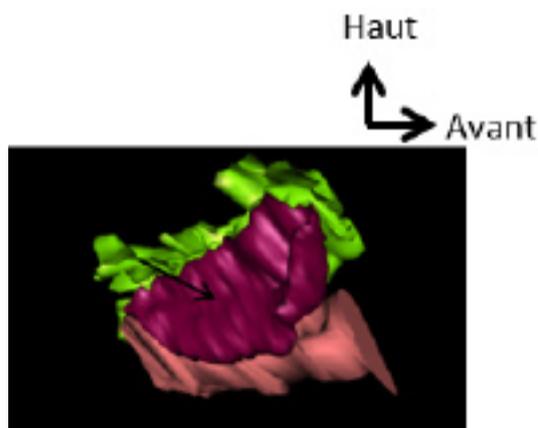
**Figure 3C** : Les cinq parois de la FLC sur une coupe frontale de l'HD au milieu du SCI



Ces cinq parois proviennent des deux entités anatomiques que sont l'opercule de la FLC et l'insula.



**Figure 4A** : Vue antéro-latérale du complexe de l'opercule et de l'insula gauches (FLC) après masquage du reste du cerveau



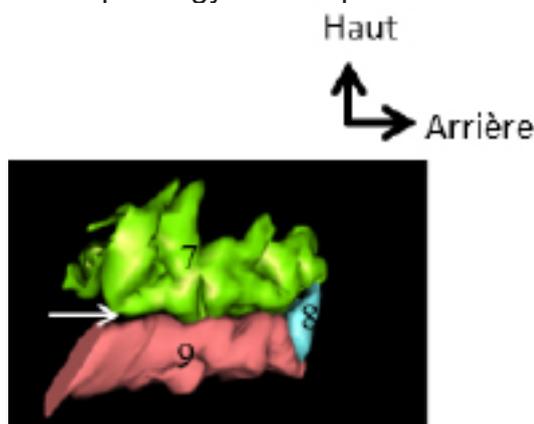
**Figure 4B** : Vue antéro-médiale du complexe de l’opercule et de l’insula gauches (FLC) après masquage du reste du cerveau

7 :	Partie gyrale fronto-pariétale	9 : Partie gyrale temporale
8 :	Partie gyrale pariéto-temporale	Flèche noire : Insula
7+8+9 : Opercule de la FLC (opercule sylvien)		

### L’opercule de la FLC (opercule sylvien) en 3D

L’opercule de la FLC (opercule sylvien) est constitué de trois parties gyrales [fig.4C] :

- La partie gyrale fronto-pariétale,
- La partie gyrale pariéto-temporale correspondant au pli de passage pariéto-temporal superficiel (pli courbe) et
- La partie gyrale temporale



**Figure 4C** : Exposition de l’opercule de la FLC gauche après extraction de la paroi médiale insulaire

7+8+9 : Opercule de la FLC (opercule sylvien)
---

### L'insula en 3D

L'insula, par son cortex constitue la paroi médiale de la FLC [fig.4D].

Haut

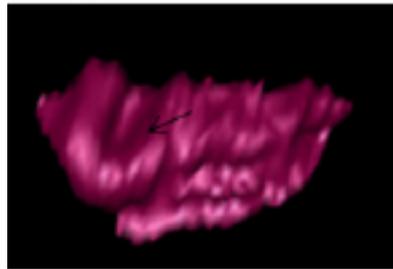


Figure 4D : Exposition de l'insula après éclatement et masquage des autres parois de la FLC gauche

### 3-2- Contenu de la FLC

#### Les compartiments

Le contenu comprend en dedans la citerne de la FLC et latéralement l'espace sous arachnoïdien entre les 2 lèvres du SL. La subdivision de ces 2 espaces en 5 compartiments est réalisable sur le modèle 3D construit.

Dans la citerne de la FLC, au niveau profond et médial, nous avons 4 compartiments : antéro-supérieur (1), antéro-inférieur (2), postéro-supérieur (3) et postéro-inférieur (4). Au niveau latéral, nous avons 1 compartiment [fig. 5A,5B,5C].

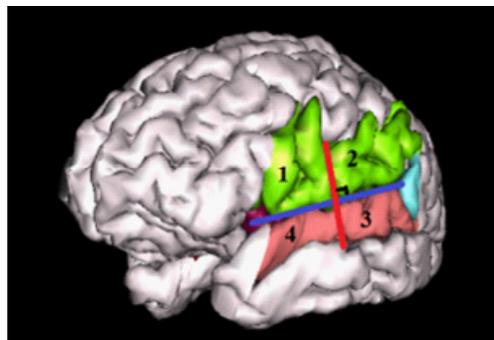


Figure 5A : Projection des quatre compartiments de la FLC gauche sur une vue latérale du cerveau

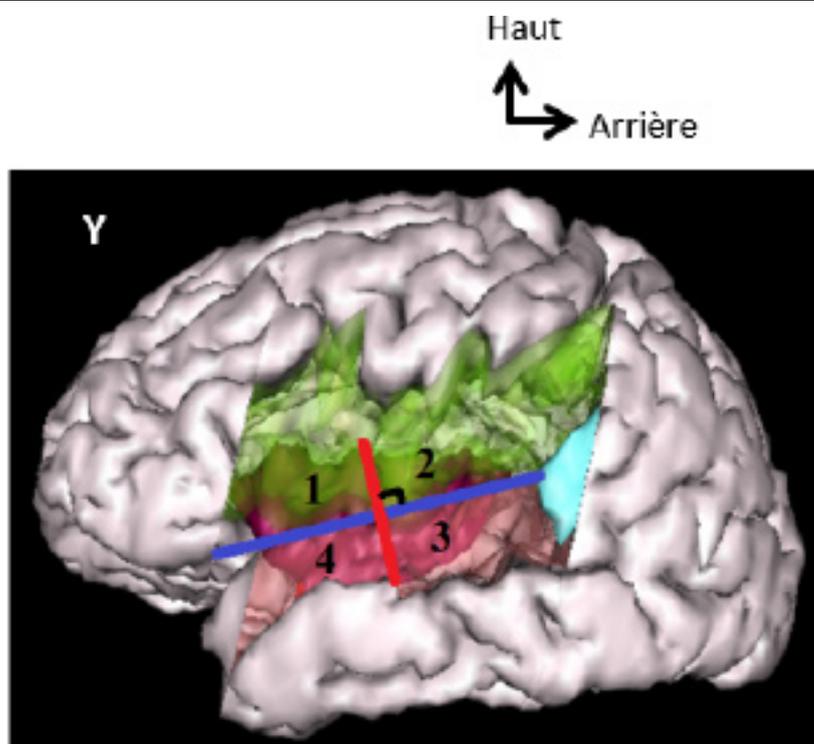


Figure 5B : Vue latérale des quatre compartiments de la FLC gauche avec mise en transparence du cortex

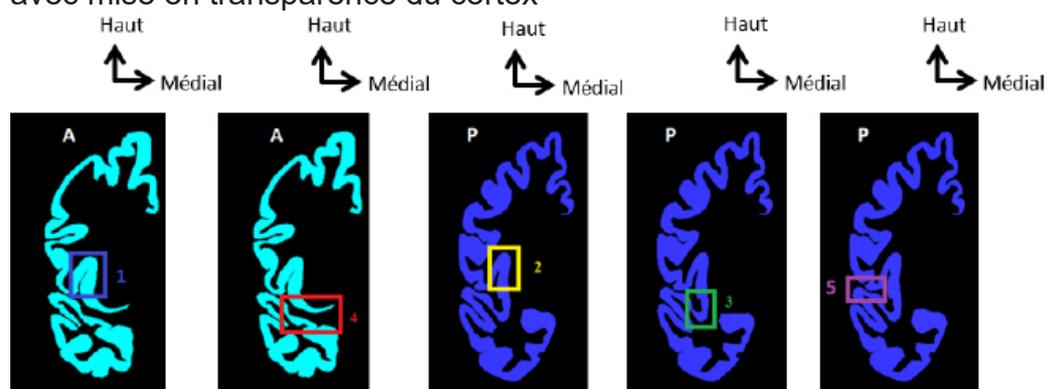
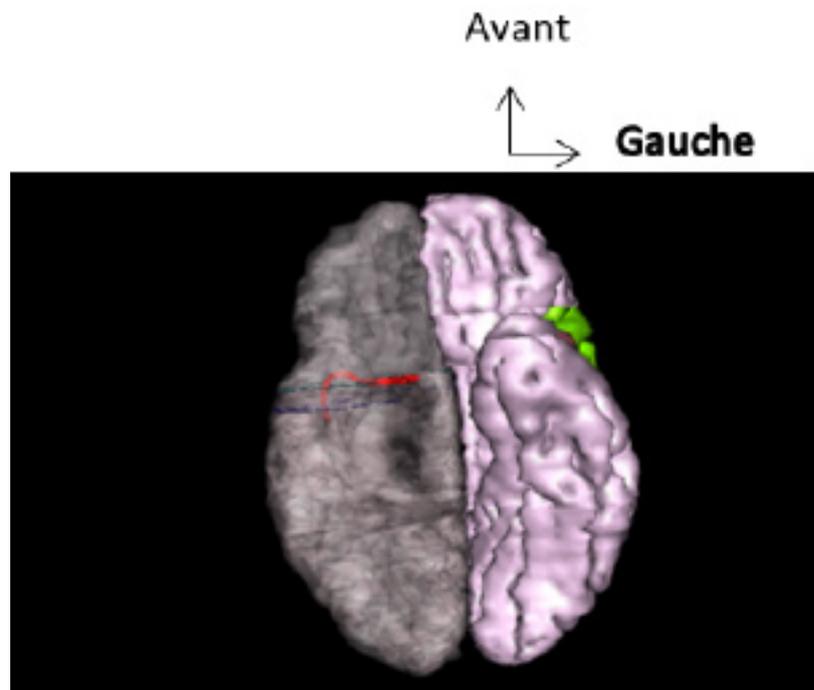


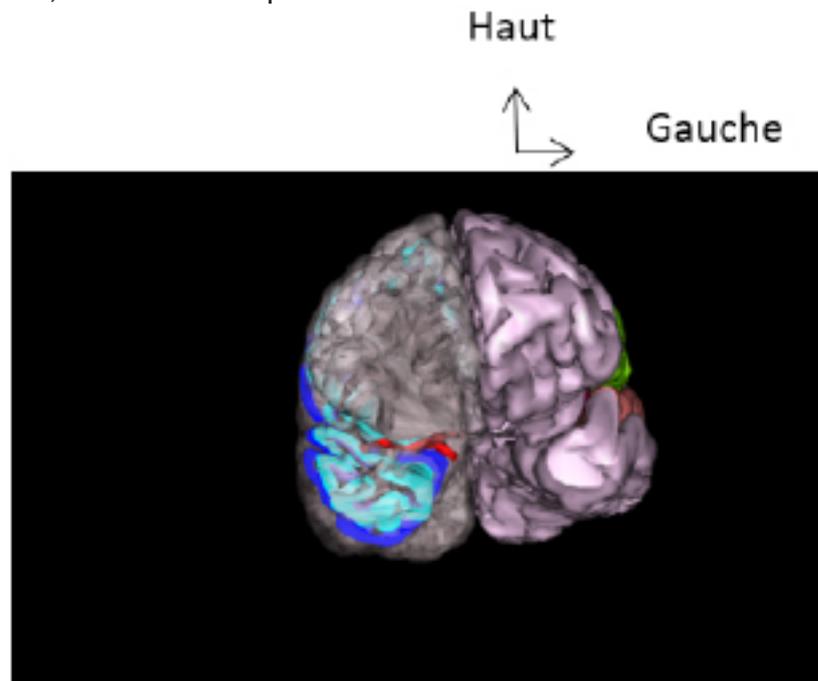
Figure 5C : Exposition des cinq compartiments de la FLC de l'HD sur deux niveaux de coupe frontale : SI (A) et milieu du SCI (P)

**Le contenu**

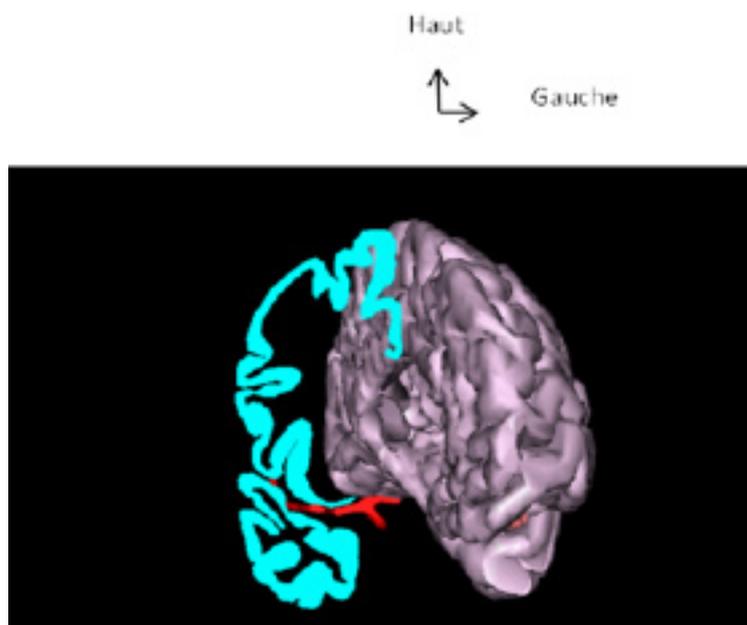
Parmi les éléments du contenu de la FLC, seule l'artère cérébrale moyenne (ACM) a été reconstruite manuellement dans ses segments M1 et M2. Elle est visible sur les vues inférieure [fig.6A] et antérieure [fig.6B] de l'HCD avec la mise en transparence du cortex. Son segment M1 traverse le compartiment antéro-inférieur au niveau de la coupe frontale au niveau du SI [fig.6C]. Son segment M2, traverse le compartiment postéro-inférieur qui est plus étroit au niveau de la coupe frontale au niveau du milieu du SCI [fig.6D].



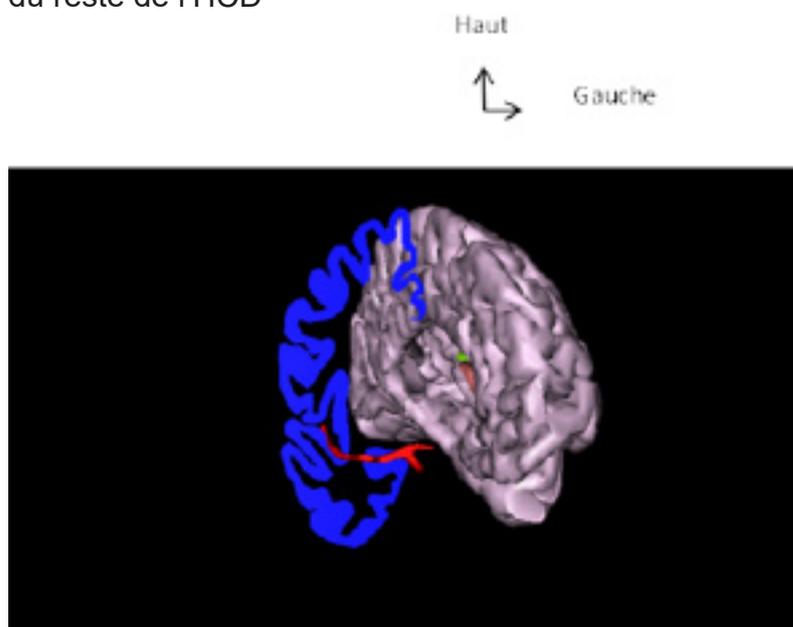
**Figure 6A** : Vue inférieure de l'HCD en transparence montrant le segment M1, le coude et la partie initiale de M2 de l'ACM



**Figure 6B** : Vue antérieure de l'HCD en transparence montrant le segment M1 de l'ACM



**Figure 6C** : Exposition du segment M1 (en rouge) de l'ACM sur la vue antérieure d'une coupe frontale de l'HCD au niveau du SI avec masquage du reste de l'HCD



**Figure 6D** : Exposition du segment M1 et M2 (en rouge) de l'ACM sur la vue antérieure d'une coupe frontale de l'HCD au niveau du milieu du SCI avec masquage du reste de l'HCD

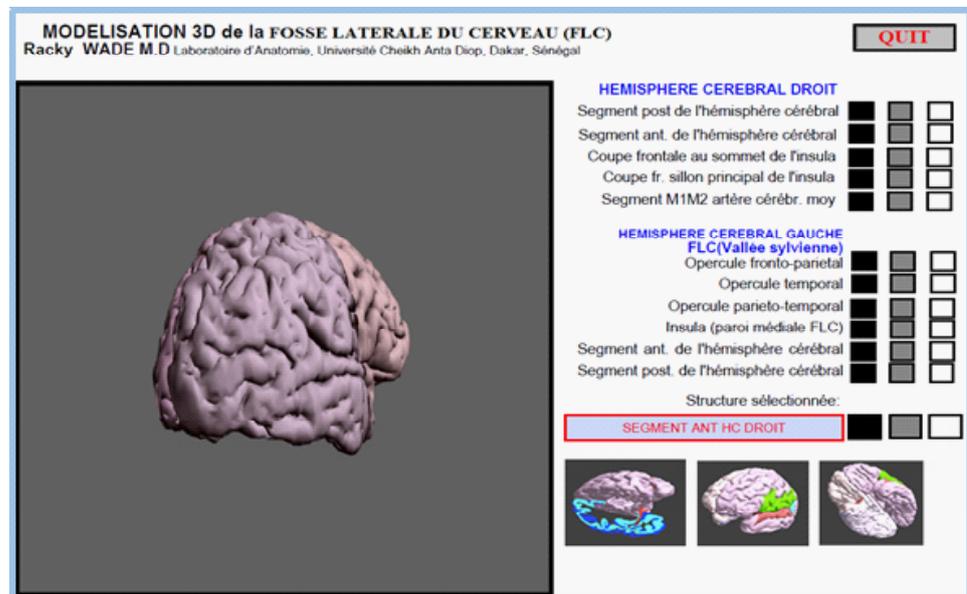
4- Visualisation du modèle 3D anatomique réalisé sur l'interface d'Acrobat 3Dpdf

Les boutons noirs, gris et blancs figurant à droite de l'interface d'Acrobat 3Dpdf, sont programmés en Javascript pour exécuter des actions sur le modèle 3D : masquage, transparence, affichage des éléments du cerveau et de la FLC.

La sélection d'un élément du modèle avec la souris affiche son nom dans une fenêtre.

Les différentes vues pertinentes pour la leçon sont sélectionnées au bas et à droite de l'interface.

Le déplacement sur les trois plans est possible avec le modèle [fig.7].



**Figure 7** : Présentation du modèle 3D interactif du cerveau intégrant la FLC sur l'interface d'Acrobat 3Dpdf

## DISCUSSION

### 1. Rendu 3D de la coupe frontale ou coronale après reconstruction 3D manuelle

La coupe frontale classique en Anatomie est appelée coupe coronale par les radiologues et les imageurs. Sur les clichés 2D fournis par l'IRM, elle apparaît verticale. Après la reconstruction 3D manuelle, cette même coupe apparaît dans les illustrations légèrement oblique vers le bas et vers l'avant. En effet, avec l'IRM, les coupes frontales comme celles sagittales sont toutes perpendiculaires aux coupes transversales ou axiales. Ces dernières sont alignées parallèlement au plan inter commissural qui passent par les repères anatomo-radiologiques que sont la commissure blanche antérieure (CA) et la commissure blanche postérieure (CP) définis par Talairach [6]. La CA croise transversalement la paroi antérieure du troisième ventricule et les deux piliers du fornix. La CP croise transversalement la paroi postérieure du troisième ventricule, sous l'épiphyse et au-dessus de l'aqueduc du mésencéphale. La CA étant un peu plus haut située que la CP, le plan transversal ou axial qui les relie est forcément et légèrement oblique vers le bas et vers l'arrière. Ce qui explique la légère obliquité vers le bas et vers l'avant de la coupe frontale qui lui est perpendiculaire. La reconstruction 3D de celle-ci réalisée dans cette étude illustre bien et à deux niveaux de coupe différents.

### 2. Exposition et situation de la FLC

La FLC est située en profondeur du SL, entre l'insula en dedans et l'opercule de la FLC en dehors. Sur une pièce anatomique d'autopsie, l'écartement des deux lèvres du SL est nécessaire pour la mettre en évidence. A l'IRM, la FLC peut être visualisée en 2D comme en 3D sur différentes coupes centrées sur la région intéressée. Cependant ses parois ne peuvent être délimitées pour la circonscrire car celles-ci sont toutes constituées de substance grise (SG) qui est en continuité avec le cortex cérébral dans son ensemble. En effet, les images en pondération T1 et T2 résultent respectivement de différence de structure cérébrale et de type de tissu nerveux qui génèrent des contrastes. Les parois de la FLC font

partie morphologiquement du ruban cortical et sont constituées, comme le reste du cortex, de SG sur le plan tissulaire. Ainsi, ils ne peuvent pas faire l'objet de segmentation limitrophe automatique à visée anatomo-didactique avec de tels paramètres d'acquisition. Dans notre étude, le logiciel Winsurf® nous a permis la délimitation et l'exposition sans équivoque de la FLC grâce à la segmentation manuelle. Cependant, cette segmentation manuelle nécessite au préalable une exploration poussée de la littérature [7-11] et surtout pour des régions ou des structures complexes dont la délimitation est source de controverses [12].

Le complexe régional anatomique exposé résulte de la segmentation préalable et distincte des parties de l'opercule de la FLC (fronto-pariétale, pariéto-temporale et temporale) et de la paroi médiale insulaire. Egalement, ce complexe régional peut être éclaté pour étudier séparément chaque paroi qui le délimite. De plus, il offre une mobilité rotatoire permettant une assimilation et un repérage plus aisé de la situation de la région anatomique étudiée.

Cette première partie d'illustrations portant sur la situation et l'exposition de la FLC à l'aide d'un modèle 3D interactif, amorce dans l'esprit des apprenants des questions sur les enjeux limitrophes de cette région. Elle peut correspondre au temps du premier schéma de mise en place dans le cours d'Anatomie classique fait au tableau noir ou vert.

### 3. Forme de la FLC

La description des formes de la FLC est réalisable avec le modèle 3D construit mais sur des niveaux de coupes bien définis. La même forme modale en « fourche atypique » correspondant au type 3 avec le modèle 3D obtenu, est retrouvée sur les images 2D d'IRM en coupe frontale au niveau du SI au même niveau de coupe [5]. La branche inférieure et médiale de cette forme est large et profonde et contient le segment M1 de l'ACM et ses branches collatérales. Ce qui exige une délicatesse lors de l'abord de cette partie de la FLC.

Au niveau du milieu du SCI, nous n'avons pas retrouvé la même forme en « T » des images 2D de l'IRM [5] mais plutôt une forme « indéterminée ». Cependant, la forme indéterminée retrouvée reste toujours étroite et rend délicat l'abord chirurgical transsylvien postéro-inférieur de la FLC [13].

### 4. Parois et contenu

Le contourage précis du ruban cortical a permis d'obtenir un rendu 3D bien distinct des parois de la FLC. Celles-ci peuvent être éclatées et étudiées séparément. C'est le cas de la paroi médiale qui correspond à l'insula.

Sur une pièce anatomique fraîche, l'insula est profondément enfoui dans la FLC et n'est visible qu'après avoir franchi les enveloppes méningées puis écarté les deux berges du SL. La dissection de l'opercule de la FLC permet son exposition permanente.

En radiologie, l'insula ne peut être visualisé dans son ensemble du fait de certaines structures comme l'opercule qui gêne sa visibilité.

La modélisation 3D offre la possibilité de visualiser et d'exposer l'insula, d'étudier sa morphologie et de décliner étape par étape ses rapports d'avec les structures environnantes telle que l'ACM. Ceci est possible grâce aux diverses manipulations que sont la mise en transparence, le masquage, la mobilité rotatoire, l'extraction, l'éclatement et l'assemblage ou la reconsti-

tution des différentes structures du modèle 3D. Ainsi, la modélisation 3D permet de reproduire la technique de dissection traditionnelle pédagogique mais aussi de reconstituer des structures éclatées.

La subdivision en 5 compartiments est d'égale précision que celle obtenue avec les images 2D d'IRM [5].

La segmentation du contenu de la FLC était limitée par la résolution des images obtenues avec l'IRM 1,5 T. Le contourage de l'ACM était possible uniquement au niveau du segment M1 et de la moitié antérieure de M2. Dans ces conditions, la segmentation automatique donnerait un meilleur rendu.

### En résumé

Le modèle 3D anatomique obtenu est destiné à la pédagogie. Il répond à la définition de Cachia sur le modèle qui le définit comme un contenu instrumental [14] car on apprend quelque chose grâce à ce modèle. Sa réalisation va nécessiter d'une part la construction d'une leçon d'Anatomie classique et d'autre part une segmentation manuelle des images, articulée au squelette de la leçon. En d'autres termes le scénario précisant le déroulement de la leçon, définit au préalable le protocole de segmentation manuelle du modèle 3D anatomique à reconstruire. Ce travail a permis de mettre en évidence l'intérêt didactique de la segmentation manuelle au cours du processus de modélisation 3D. En effet, la segmentation manuelle offre la possibilité de parcelliser au sein d'un même type de tissu nerveux, des régions d'intérêt anatomo-topographique, chirurgical ou radiologique. Les nouveaux logiciels de reconstruction 3D automatique ne peuvent pas réaliser cette segmentation élémentaire à visée didactique. Aussi, elle est utile pour la modélisation de structures anatomiques dont les rapports sont très étroits ou d'organisation complexe, comme c'est le cas pour le cerveau.

Cette étape est importante car le modèle 3D final obtenu doit pouvoir illustrer succinctement toutes les parties de la leçon conçue. L'apparition et les commentaires des différents plans de coupe et vues pertinents intégrés dans le modèle devront être articulés au scénario de la leçon. Ceci est aussi possible grâce à la segmentation manuelle.

Ainsi, la modélisation 3D anatomique présente les atouts suivants :

- le modèle 3D anatomique construit est capable d'illustrer toute l'information anatomique que l'enseignant souhaite délivrer aux apprenants ;
- le modèle 3D peut être utile aussi bien en enseignement théorique que pratique ;
- la modélisation 3D du cerveau à partir de données d'IRM chez un sujet vivant de référence simule au mieux la disposition naturelle des différentes structures anatomiques du cerveau les unes par rapports aux autres, en position de décubitus dorsal comme sur la table opératoire. Par ailleurs, il ne se pose plus la question de la proportionnalité entre les structures comme dans les schémas classiques faits à main levée. Aussi, elle offre une meilleure exactitude quant à la projection osseuse des structures cérébrales et vasculaires ;
- sur le plan technique, l'enseignant en plus de visualiser le modèle 3D anatomique, a la possibilité de le faire bouger, d'interagir avec et de collaborer avec d'autres collègues et étudiants une fois que le modèle est incorporé dans les écrans de visio-conférences ;

- le modèle 3D comme outil pédagogique, est efficient pour la transmission de l'information anatomique face à des effectifs considérables d'étudiants.

## CONCLUSION

La technique pédagogique d'Anatomie numérique que nous avons développée ne diffère pas de celle classique et traditionnelle. Elle vient la compléter en offrant des avantages notoires pour délivrer succinctement l'information anatomique contenue dans l'outil 3D anatomique. A ce jour il n'existe pas encore de modèle 3D anatomique sur la FLC validé et publié. Le modèle 3D anatomique du cerveau construit avec l'intégration de la FLC pourrait être incorporé dans une banque de modèles 3D à utiliser dans les cours, dans un Atlas numérique ou dans des DVD roms pédagogiques. Egalement, il peut aussi être converti en un format adapté à l'impression 3D.

## RÉFÉRENCES

1. **Benleghib N, Boukabache L, Boulacel A, Boussafsaf B.** Evaluation de l'enseignement de l'anatomie humaine. *Morphologie*. 1 septembre 2015 ;99(326) :115.
2. **Balaya V, Uhl J-F, Lanore A, Salachas C, Samoyeau T, Ngo C, et al.** Modélisation anatomique 3D du pelvis féminin par dissection anatomique assistée par ordinateur : applications et perspectives. *Journal de Gynécologie Obstétrique et Biologie de la Reproduction*. 1 mai 2016 ;45(5) :467-77.
3. **Aydin IH, Kadioğlu HH, Tüzün Y, Kayaoğlu CR, Takci E.** The variations of sylvian veins and cisterns in anterior circulation aneurysms. *Acta neurochirurgica*. 1996;138(12):1380–1385.
4. **Broca M.** Lobe de l'insula. In: *Chirurgie cérébrale*. p. 32-4.
5. **Wade R, Plaisant O, Guédon A, Diop AD, Ndiaye A, Manyacka P, Gaye M, Ba S, Ndiaye A, Dia A.** Morphology of the lateral fossa of the brain (sylvian valley): anatomoradiological aspects and surgical application. *Surgical and Radiologic Anatomy (SRA)* 2019; 639-655. DOI 10.1007/s00276-019-02228-5. ISSN : 0930
6. **Linda Marrakchi Kacem.** Connectivité anatomique des ganglions de la base: développements méthodologiques et application aux troubles moteurs. Autre [cond-mat.other]. Université Paris Sud - Paris XI, 2011. Français. NNT : 2011PA112107 . tel-00622267
7. **Dejerine J, Dejerine-Klumpke A.** Anatomie des centres nerveux. Tome 2, Fascicule 1 : Anatomie du cerveau (suite), anatomie du rhombencéphale [Internet]. Paris: Rueff; 1901. Cité le 4 avril 2016]. Disponible sur: [http://jubilotheque.upmc.fr/ead.html?id=CO\\_000089\\_007](http://jubilotheque.upmc.fr/ead.html?id=CO_000089_007)
8. **Dubret G, Cousin F-R.** Eléments d'Anatomie et de physiologie du système nerveux central. Paris: Flammarion; 1985. 376 p.
9. **FitzGerald MJ., Folan-Curran J.** Neuro-anatomie clinique et neurosciences connexes. Paris: Maloine; 2003. 323 p.
10. **Kamina P.** Neuroanatomie. Paris: Maloine; 2e éd. 2013. 434 p.
11. **Rouvière H, Delmas A.** Système nerveux central, voies et centres nerveux. In : Anatomie humaine. Descriptive, topographique et fonctionnelle. Paris: Masson; 15e éd. révisée par Delmas V. 2002. 411 p.

- 12. Wade R, Plaisant O, Guedon A, Diop AD, Ndiaye Aï, Manyacka P, Gaye M, Ba S, Uhl JF, Ndiaye Ab, Thiam MH, Delmas V, Chevallier JM, Dia A.** Le plan temporal ou « planum temporale » : Aspects anatomoradiologiques à l'imagerie par résonance magnétique et applications dans la schizophrénie. *Journal Africain de Morphologie (JAMO)* 2016 ; 7(7) : 1-6
- 13. Safae MM, Englot DJ (2016)** The transsylvian approach for resection of insular gliomas: technical nuances of splitting the Sylvian fissure. *Journal de neuro* 130 :238-287
- 14. Cachia A.** Modèles statistiques morphométriques et structurels du cortex pour l'étude du développement cérébral. Paris : Ecole nationale supérieure de télécommunications ; 2003.