



Journal Homepage: [-www.journalijar.com](http://www.journalijar.com)

## INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI: 10.21474/IJAR01/14886  
DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/14886>



### RESEARCH ARTICLE

#### ANATOMIE DE L'OREILLE INTERNE : LES CANAUX SEMI-CIRCULAIRE D'APRÈS UNE MODÉLISATION TRIDIMENTIONNELLE

Ismail Nakkabi, Mohammed Ridal, Najib Benmansour, Karim Nadour, Ali El Boukhari and Mohammed Nouredine El Amine El Alami

#### Manuscript Info

##### Manuscript History

Received: 10 April 2022  
Final Accepted: 14 May 2022  
Published: June 2022

#### Abstract

Le présent travail s'intéresse à l'anatomie de l'oreille interne et particulièrement celle des canaux semi-circulaires. Il s'agit d'une étude combinant des moyens d'imagerie de haute résolution (TDM de rochers) à des outils informatiques simples et disponibles gratuitement sur internet. Ceci a rendu possible la visualisation et l'étude précise de certains paramètres anatomiques. Nous avons obtenu des résultats graphiques et numériques. Les résultats graphiques, permettant de voir le rendu en 3D de ces structures, peuvent avoir plusieurs applications pratiques, notamment à des fins pédagogiques. Les résultats numériques démontrent qu'il y a une variabilité inter individuelle pouvant expliquer la réponse de chacun à des tests diagnostiques et thérapeutiques de vertige.

Copy Right, IJAR, 2022.. All rights reserved.

#### Introduction:-

Les canaux semi-circulaires constituent la structure de l'oreille interne qui permet de détecter les accélérations angulaires dans les trois plans de l'espace. Fonction rendue possible grâce à une configuration spatiale adaptée à cette fonction.

Plusieurs publications s'intéressent à l'anatomie et à la physiologie de ces CSC, à travers des approches différentes, dépendantes de la spécialité de chaque auteur. Des modèles mathématiques et informatiques assez puissants ont été publiés et apportent de nouveaux éléments aux données anatomiques préexistantes.

Pour étudier cette anatomie, aussi complexe soit elle, nous avons eu recours à la combinaison de moyens d'imagerie de haute résolution (TDM de rochers) à des outils informatiques simples et disponibles gratuitement sur internet. Les résultats aussi bien graphiques que statistiques de cette étude seront abordés. Nous évoquerons également quelques applications pratiques de cette modélisation.

#### Etude de cas :

Nous avons mené une étude rétrospective incluant 23 TDM des rochers réalisées dans le cadre du bilan pré-implantation cochléaire, soit au total 46 rochers.

L'étude a été organisée comme suit :

1. segmentation et volumétrie en utilisant le logiciel ITK-SNAP
2. traitement du fichier obtenu sur le logiciel paraview
3. Recueil de paramètres anatomiques :

**Corresponding Author:- Ismail Nakkabi**  
Address:- Hôpital Militaire Moulay Ismail - Méknès.

- a. Volumes des CSC en mm<sup>3</sup>
- b. Angles formés par les paires de canaux semi-circulaires
- c. Angle que forme le canal latéral par rapport au plan de Frankfort

segmentation et volumétrie en utilisant le logiciel ITK-SNAP

Le logiciel ITK-SNAP fournit un ensemble d'outils pour faciliter et accélérer la segmentation des données volumétriques. Il dispose de 2 modes :

1. le mode segmentation manuelle
2. le mode segmentation semi-automatique.

Le mode manuel permet de suivre une structure sur plusieurs coupes tout en la délimitant par l'outil « pinceau » ou d'effacer éventuellement une erreur par l'outil « gomme ».

En mode semi-automatique, un puissant algorithme de segmentation par niveaux est utilisé pour segmenter les structures anatomiques en trois dimensions. Cet algorithme nécessite des instructions de l'utilisateur. Le logiciel fournit une interface simple permettant de fournir ces informations. Une fois le processus lancé, le logiciel s'occupe lui-même de définir les limites de la structure à segmenter, le paramétrage utilisateur ainsi que les corrections par mode manuel permettent d'affiner les limites. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle on le dénomine : mode semi-automatique. Ce mode a l'avantage d'être plus reproductible que le mode manuel pure.

Les canaux semi-circulaires ont été modélisés un par un.

Pour illustrer la méthode de segmentation on prendra pour exemple le canal semi circulaire (CSC) supérieur.

Une fois importées, les données DICOM des TDM de rochers sont automatiquement présentés en mode multiplanar reconstruction ou MPR sur le logiciel ITK-SNAP (coupes axiales, sagittales et coronales) ; on sélectionne une zone d'intérêt contenant le CSC supérieur. Ses limites antérieure, postérieure, interne, externe, supérieure et inférieure seront manuellement définies en se reportant sur les coupes en 3 plans de l'espace. on clique alors sur « Segment 3D ».

L'étape suivant consiste en la définition du seuil d'intensité du canal semi circulaire supérieur ; Une fois le bouton « segment 3D » appuyé, on se retrouve avec une interface utilisateur propre à la segmentation semi-automatique. C'est à ce moment qu'on définit deux seuils d'intensité, supérieure et inférieure, permettant la visualisation totale de la structure d'intérêt. Ces seuils sont généralement -200 et 1000. Un ajustement manuel est souhaitable à ce niveau étant donné que l'image est constamment mise à jour lors du changement des seuils d'intensité. On appuie alors sur « next ». Des bulles sont définies à l'intérieur du CSC supérieur et ce en appuyant sur « addbubble » (dont la taille est ajustée pour ne pas dépasser les limites du canal). Nous avons utilisé 5 bulles dans la segmentation du CSC supérieur, une au sommet, 2 au milieu et 2 à chaque extrémité. On appuie ensuite sur « next » puis sur la touche « play » pour lancer la segmentation semi-automatique. Il est préférable d'avoir une mise à jour continue de l'image sur le quadrant contenant l'image 3D. une fois tout le canal est pris on arrête la segmentation.

L'outil « pinceau intervient par la suite pour effacer les autres structures contenues dans la zone d'intérêt et qui ne correspondent pas au CSC supérieur.

Les autres canaux ainsi que la crue commune sont modélisés en 3D de la même manière. Chaque structure sera désignée par un label de couleur différente. **(Figure 1)**

#### **Tableau des volumes et intensités :**

Une fois la segmentation terminée, on clique sur le menu segmentation en haut de l'écran puis « volumes and statistics ». le tableau comporte le volume des CSC et leur intensité moyenne. **(Figure 2)**

#### **Post processing utilisant le logiciel paraview**

Paraview a de multiples utilisations. Il permet entre autre d'appliquer un mouvement (translation ou rotation voir mouvement complexe) au fichier 3D afin de visualiser directement le comportement du vestibule dans différents mouvements de la tête. Il permet également l'étude de contraintes/déformation (mais ceci rentre dans le cadre de l'étude de la physiologie des canaux et va au-delà de la simple description anatomique)

Dans ce travail nous nous sommes limités à la définition du plan correspondant à chaque CSC. Il est obtenu automatiquement sur le logiciel. Ceci nous a permis de définir les angles formés par chaque paire de canaux. (**Figure 3**)

volumes des CSC : (**Tableau 1**) tel qu'il a été précédemment annoncé, nous avons pu mesurer le volume de chaque canal semi-circulaire. Le nombre total de rochers est de 46.

Le volume des CSC latéraux varie entre 13,04 et 19,40 avec une moyenne de 16,5 mm<sup>3</sup>. Celui des CSC supérieurs varie entre 16,70 et 22,61 avec une moyenne de 19,3 mm<sup>3</sup> et enfin le volume des CSC postérieurs est de 18,14 et 22,01 avec une moyenne de 21,7 mm<sup>3</sup>.

#### Angles formés par chaque paire de canaux : (**Tableau 2**)

Les angles formés par chaque paire de canaux a également été étudié :

- Les angles formés entre les paires de canaux vont de 78 à 97 degrés. Avec des moyennes allant de 85 à 92 degrés.
- Le CSC latéral forme un angle par rapport au plan de Frankfort de 16 à 34 degrés, avec une moyenne de 24 degrés.

On observe une variabilité interindividuelle, des valeurs sensiblement égales (mais pas toujours) à 90 degrés.

#### Discussion:-

Les CSC jouent un rôle important dans la détection des accélérations angulaires. Cette fonction est étroitement liée à une configuration spatiale lui conférant cette fonction.

Dans notre étude, les CSC ont été reconstruits en trois dimensions d'après une modélisation 3D de TDM des rochers. Ces modèles 3D nous ont permis d'obtenir des données réelles sur les dimensions et la configuration spatiale des CSC.

Plusieurs auteurs se sont penchés sur ces particularités aussi bien chez des spécimens humains qu'animales.

#### volumes des CSC :

Les résultats des études embryologiques et anatomiques ont montré que la configuration adulte du labyrinthe est atteinte après environ 12 semaines de gestation et que la taille de l'adulte est atteinte après environ 25 semaines de gestation. Il a également été prouvé qu'il existe une variation très minimale avec l'âge, le sexe, le côté et la race se trouve après la naissance [1].

Melhem et al [2] s'est intéressé à la reproductibilité des mesures volumétriques générées par une segmentation semi-automatique d'images IRM de l'oreille interne. Il a conclu à une haute reproductibilité des mesures, faible coefficient de variation et une faible variabilité inter-opérateur.

Il a proposé qu'une combinaison d'études volumétriques à une imagerie de haute résolution pourraient, à l'avenir, permettre de stratifier les patients atteints de surdité congénitale en trois groupes :

1. ceux qui présentent des anomalies de configuration grossières de l'oreille interne (malformations par arrêt de développement avant les 12 semaines de gestation);
2. ceux avec des anomalies volumétriques mais sans anomalies grossières de configuration (entre 12 et 25 semaines de gestation);
3. ceux sans anomalies volumétriques ou de configuration (après 25 semaines de gestation). Cette stratification peut avoir des conséquences sur la gravité et la progression de la perte d'audition neurosensorielle et peut également aider à la déterminer

Bradshaw et al insiste également sur la nécessité d'avoir une analyse semi-automatisée afin de minimiser la subjectivité et la variabilité de l'opérateur [3].

Nous n'avons pas trouvé de publication rapportant le volume exact de chaque canal semi-circulaire tel que nous rapportons dans cette étude.

Certains auteurs tel que Lee et al [4] étudient indirectement la taille des canaux semi-circulaires par plusieurs paramètres géométriques.

Dans notre série, nous avons constaté que le volume des CSC varie entre 13,04 et 22,61 mm<sup>3</sup>. Le CSC latéral étant le moins volumineux et le CSC postérieur le plus volumineux et ce chez tous les patients de la série.

#### **Orientation des CSC :**

La connaissance précise de l'orientation absolue (par rapport aux repères du crâne) et de la position du CCS est essentielle pour la compréhension des résultats d'examen au cours de l'évaluation clinique et des explorations paracliniques du vertige (notamment la Vidéo-Head-Impulse-Test ou VHIT) [5].

De ce fait, cette orientation a suscité une littérature abondante de par son intérêt physiologique mais aussi et surtout ses implications dans la thérapeutique liée à l'équilibration. En effet, plusieurs manœuvres diagnostiques et thérapeutiques (calorique, rotationnelle) sont basées sur la stimulation du contenu canalaire de façon à le mobiliser sélectivement. Pour cela, l'angulation approximative doit être connue de façon à optimiser le mouvement requis. Le fait que la stimulation d'un canal provoque un nystagmus dans le même plan est connu depuis longtemps (dès Flourens en 1828, Ewald en 1882).

Une vision idéaliste s'est formée à partir des premières études considérant que les 3 CSC devaient être strictement orthogonaux à 90° avec un angle entre la ligne médiane du crâne et les CSC antérieur + postérieur à 45°. Plusieurs études ultérieures sont venues rectifier cette notion. Nos résultats désapprouvent également cette notion d'orthogonalité parfaite.

Dans une étude IRM sur 11 patients, Aoki et al [6] ont mesuré des angles de 91.0° à 94.9° entre CSC homolatéraux.

D'après Charpiot et al [7], les angles entre les trois canaux ne sont pas exactement à 90 degrés: ils sont respectivement de 92,1, 84,4 et 86,2 degrés entre les canaux antérieur et postérieur, antérieur et latéral, et postérieur et latéral semi-circulaire.

Lee et al ont étudié les CSC à partir de 40 os pétreux en microCT (et reconstruction informatique 3D). Ils trouvent des angles entre 84 et 92°.

#### **Applications pratiques de la modélisation 3D :**

##### **Outil pédagogique :**

Enfin, même si ce n'est pas la vocation première de la modélisation, la simulation de rotation du canal lors d'une rotation de la tête peut être facilement visualisée avec les logiciels de représentation, en trois dimensions et dans n'importe quelle position. C'est un formidable outil pédagogique pour aborder le fonctionnement normal et pathologique des canaux semi-circulaires, domaine très difficile à appréhender de l'avis général des médecins ORL. Le déplacement de la cupule et du système canalaire lors d'une rotation de la tête est impossible à observer, et l'ORL fait appel à des représentations mentales tant pour apprendre la physiologie que pour analyser les pathologies en consultations.

##### **Le vertige positionnel paroxystique bénin :**

Si les vertiges positionnels « typiques » ne posent pas de problème de diagnostic ni de traitement, nombre de vertiges positionnels ne sont pas du tout typiques, et les bilans complémentaires ne révèlent pourtant aucune cause neurologique. Des phénomènes mécaniques plus complexes que les schémas actuels sont probablement en cause, et probablement localisés au niveau du récepteur périphérique lui-même. Ces hypothèses, impossibles à observer in vivo, peuvent être testées par des simulations numériques sur ces modèles 3D.

##### **Limitations :**

Il s'agit d'une étude purement anatomique sur un échantillon de TDM de rochers. Il aurait été intéressant d'inclure une étude sur IRM des rochers, ce qui offre plus de possibilités concernant le rendu 3D.

#### **Conclusion:-**

Nous avons pu décortiquer les détails de l'anatomie de l'oreille interne et particulièrement des canaux semi-circulaires en utilisant des TDM des rochers et quelques outils informatiques. Les images 3D obtenues par modélisation sont reproductibles en utilisant une méthode semi-automatisée. Elles permettent une visualisation des détails que l'on peut étudier sur les coupes scannographiques 2D. Notre analyse quantitative (volumes et angles d'orientation) rejoint les données de la littérature et confirme la variabilité interindividuelle. Ces données de

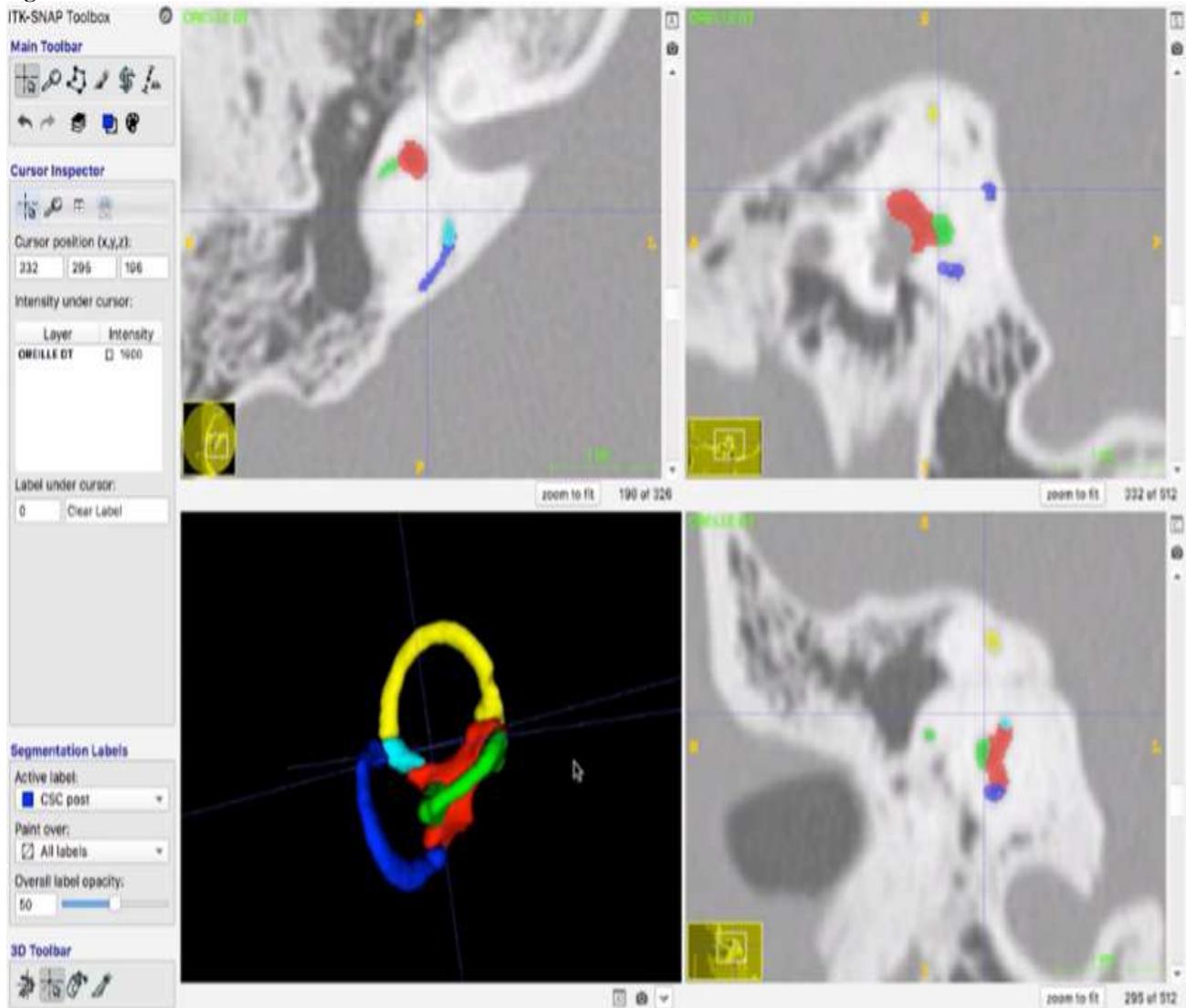
modélisation peuvent être utilisées pour une analyse plus fine de la physiologie de l'équilibre mais aussi pour comprendre le mécanisme physiopathologique de certains types de vertige (notamment du VPPB). Elles peuvent également être utilisées à des fins pédagogiques.

**Conflit d'intérêt :**

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt.

**Contributions des auteurs :**

Tous les auteurs ont contribué à l'élaboration de ce travail.

**Liste des tableaux et figures :****Figures :**

**Figure 1:-** résultat final de la modélisation des structures du labyrinthe postérieur.

Label Name	Voxel Count	Volume (mm3)	Intensity Mean ± SD (OREILLE DT)
0 Clear Label	85448824	8.772e+05	-798.1381±1291.5197
1 vestibule	4805	49.33	367.0905±366.8216
2 CSC lat	1702	17.47	724.0511±293.5582
3 CSC post	1679	17.24	694.5378±333.7698
4 CSC ant	1558	15.99	627.2991±330.3425
5 crus commune	376	3.86	578.4441±316.3489

Figure 2:- Tableau des volumes et intensités obtenue en fin de segmentation.

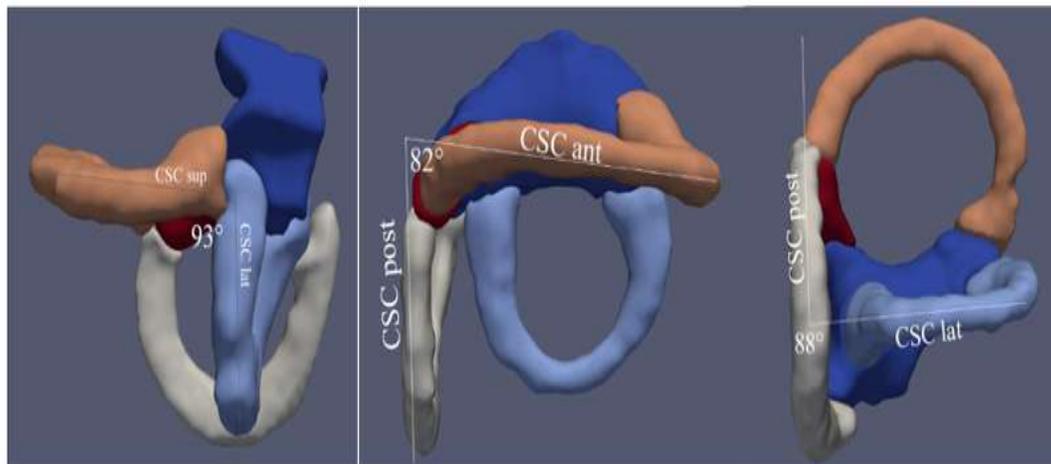


Figure 3:- Angles formés par chaque paire de canaux.

Tableaux :

Volume (mm <sup>3</sup> )	Minimum	Maximum	Moyenne
CSC latéral	13,04	19,40	16,5
CSC supérieur	16,70	22,61	19,3

CSC postérieur	18,14	22,01	21,70
----------------	-------	-------	-------

**Tableau 1:-** Résultats des volumes obtenus pour les canaux semi-circulaires.

Anglesendegré	Minimum	Maximum	Moyenne
LAT – SUP	81	92	87
LAT – POST	83	97	92
POST – SUP	78	88	85
LAT – Frankfort	16	34	24

**Tableau 2:-** Résultats obtenus pour les angles formés par chaque paire de canaux.

### Références Bibliographiques:-

- 1 Nemzek WR, Brodie HA, Chong BW, et al. Imaging Findings of the Developing Temporal Bone in Fetal Specimens. .1996;:11.
- 2Melhem ER, Shakir H, Bakthavachalam S, et al. Inner Ear Volumetric Measurements Using High-Resolution 3D T2-Weighted Fast Spin-Echo MR Imaging: Initial Experience in Healthy Subjects. .1998;:4.
- 3 Bradshaw AP, Curthoys IS, Todd MJ, et al. A Mathematical Model of Human Semicircular Canal Geometry: A New Basis for Interpreting Vestibular Physiology. J Assoc Res Otolaryngol. 2010;**11**(2):145–59.
- 4 Lee J-Y, Shin K-J, Kim J-N, et al. A Morphometric Study of the Semicircular Canals Using Micro-CT Images in Three-Dimensional Reconstruction: MORPHOMETRIC STUDY OF THE SEMICIRCULAR CANALS. Anat Rec. 2013;**296**(5):834–9.
- 5 Della Santina CC, Potyagaylo V, Migliaccio AA, et al. Orientation of Human Semicircular Canals Measured by Three-Dimensional Multiplanar CT Reconstruction. J Assoc Res Otolaryngol. 2005;**6**(3):191–206.
- 6 Aoki S, Takei Y, Suzuki K, et al. Planer orientation of the bilateral semicircular canals in dizzy patients. Auris Nasus Larynx. 2012;**39**(5):451–4.
- 7 CHARPIOT. Développent et validation d'un modèle trodimensionnel par éléments finis d'un canal semi-circulaire de l'oreille interne humaine. UMR 7507 Uds – CNRS. 2010.