



UNIVERSITE CADI AYYAD
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE
MARRAKECH

Année 2013

Thèse N° 92

Anatomie tridimensionnelle de l'oreille

THESE

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE .../.../2013

PAR

Mlle. **Soukaina HOUARI**

Née le 10 Aout 1988 à Béni Mellal

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MEDECINE

MOTS CLES

Anatomie-tridimensionnel-oreille-audition-équilibre

JURY

Mr. **A. RAJI**

Professeur d'Oto-Rhino-Laryngologie

PRESIDENT

Mr. **L. Aderdour**

Professeur agrégé d'ORL

RAPPORTEUR

Mr. **M. AMINE**

Professeur agrégé en Epidémiologie clinique

Mr. **B. BOUAITY**

Professeur agrégé d'ORL

Mr. **H. AMMAR**

Professeur agrégé d'ORL

Mr. **S. RAGHAY**

Professeur agrégé en Mathématique Appliquée
en Informatique

JUGES

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



رب اوزعني ان اشكر نعمتك التي
انعمت علي وعلى والدي
وان اعمل صالحا ترضاه
وادخلني برحمتك في
عبادك الصالحين.

صدق الله العظيم



Serment d'hypocrate

Au moment d'être admis à devenir membre de la profession médicale, je m'engage solennellement à consacrer ma vie au service de l'humanité.

Je traiterai mes maîtres avec le respect et la reconnaissance qui leur sont dus.

Je pratiquerai ma profession avec conscience et dignité. La santé de mes malades sera mon premier but.

Je ne trahirai pas les secrets qui me seront confiés.

Je maintiendrai par tous les moyens en mon pouvoir l'honneur et les nobles traditions de la profession médicale.

Les médecins seront mes frères.

Aucune considération de religion, de nationalité, de race, aucune considération politique et sociale, ne s'interposera entre mon devoir et mon patient.

Je maintiendrai strictement le respect de la vie humaine dès sa conception.

Même sous la menace, je n'userai pas mes connaissances médicales d'une façon contraire aux lois de l'humanité.

Je m'y engage librement et sur mon honneur.

Déclaration Genève, 1948





*LISTE DES
PROFESSEURS*

UNIVERSITE CADI AYYAD
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE
MARRAKECH

Doyen Honoraire

: Pr. Badie-Azzamann MEHADJI

ADMINISTRATION

Doyen

: Pr. Abdelhaq ALAOUI YAZIDI

Vice doyen à la recherche et la coopération

: Pr. Ag. Mohamed AMINE

Secrétaire Général

: Mr. Azzeddine EL HOUDAIGUI

PROFESSEURS D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ABOULFALAH	Abderrahim	Gynécologie – Obstétrique B
ABOUSSAD	Abdelmounaim	Néonatalogie
AIT BENALI	Said	Neurochirurgie
AIT SAB	Imane	Pédiatrie B
AKHDARI	Nadia	Dermatologie
ALAOUI YAZIDI	Abdelhaq	Pneumo-phtisiologie
AMAL	Said	Dermatologie
ASMOUKI	Hamid	Gynécologie – Obstétrique A
ASRI	Fatima	Psychiatrie

BELAABIDIA	Badia	Anatomie-Pathologique
BENELKHAÏAT BENOMAR	Ridouan	Chirurgie – Générale
BOUMZEBRA	Drissi	Chirurgie Cardiovasculaire
BOUSKRAOUI	Mohammed	Pédiatrie A
CHABAA	Laila	Biochimie
CHOULLI	Mohamed Khaled	Neuropharmacologie
ESSAADOUNI	Lamiaa	Médecine Interne
FIKRY	Tarik	Traumatologie- Orthopédie A
FINECH	Benasser	Chirurgie – Générale
GHANNANE	Houssine	Neurochirurgie
KISSANI	Najib	Neurologie
KRATI	Khadija	Gastro-Entérologie
LOUZI	Abdelouahed	Chirurgie générale
MAHMAL	Lahoucine	Hématologie clinique
MANSOURI	Nadia	stomatologie et chirurgie maxillo faciale
MOUDOUNI	Said mohammed	Urologie
MOUTAOUAKIL	Abdeljalil	Ophtalmologie
NAJEB	Youssef	Traumato - Orthopédie B
RAJI	Abdelaziz	Oto-Rhino-Laryngologie
SAIDI	Halim	Traumato - Orthopédie A
SAMKAOUI	Mohamed Abdenasser	Anesthésie- Réanimation

SARF	Ismail	Urologie
SBIHI	Mohamed	Pédiatrie B
SOUMMANI	Abderraouf	Gynécologie-Obstétrique A
YOUNOUS	Saïd	Anesthésie-Réanimation

PROFESSEURS AGREGES

ADERDOUR	Lahcen	Oto-Rhino-Laryngologie
ADMOU	Brahim	Immunologie
AMINE	Mohamed	Epidémiologie - Clinique
ARSALANE	Lamia	Microbiologie- Virologie (Militaire)
BAHA ALI	Tarik	Ophtalmologie
BOUKHIRA	Abderrahman	Biochimie-Chimie (Militaire)
BOURROUS	Monir	Pédiatrie A
CHAFIK	Aziz	Chirurgie Thoracique (Militaire)
CHELLAK	Saliha	Biochimie-chimie (Militaire)
CHERIF IDRISSE EL GANOUNI	Najat	Radiologie
DAHAMI	Zakaria	Urologie
EL ADIB	Ahmed rhassane	Anesthésie-Réanimation
EL FEZZAZI	Redouane	Chirurgie Pédiatrique
EL HATTAOUI	Mustapha	Cardiologie
EL HOUDZI	Jamila	Pédiatrie B
ELFIKRI	Abdelghani	Radiologie (Militaire)

ETTALBI	Saloua	Chirurgie – Réparatrice et plastique
KHALLOUKI	Mohammed	Anesthésie-Réanimation
KHOULALI IDRISSE	Khalid	Traumatologie-orthopédie (Militaire)
LAOUAD	Inas	Néphrologie
LMEJJATI	Mohamed	Neurochirurgie
MANOUDI	Fatiha	Psychiatrie
NEJMI	Hicham	Anesthésie - Réanimation
OULAD SAIAD	Mohamed	Chirurgie pédiatrique
TASSI	Noura	Maladies Infectieuses

PROFESSEURS ASSISTANTS

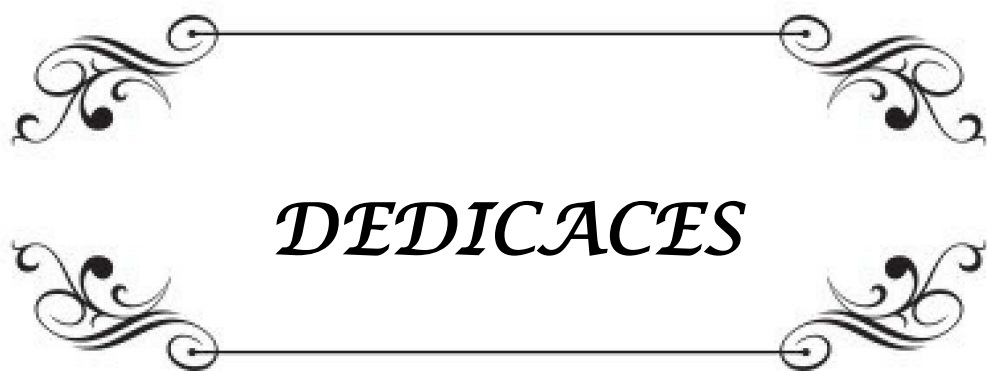
ABKARI	Imad	Traumatologie-orthopédie B
ABOU EL HASSAN	Taoufik	Anesthésie - réanimation
ABOUSSAIR	Nisrine	Génétique
ADALI	Imane	Psychiatrie
ADALI	Nawal	Neurologie
AGHOUTANE	El Mouhtadi	Chirurgie – pédiatrique
AISSAOUI	Younes	Anesthésie Réanimation (Militaire)
AIT BENKADDOUR	Yassir	Gynécologie – Obstétrique A
AIT ESSI	Fouad	Traumatologie-orthopédie B
ALAOUI	Mustapha	Chirurgie Vasculaire périphérique (Militaire)
ALJ	Soumaya	Radiologie

AMRO	Lamyae	Pneumo - phtisiologie
ANIBA	Khalid	Neurochirurgie
BAIZRI	Hicham	Endocrinologie et maladies métaboliques (Militaire)
BASRAOUI	Dounia	Radiologie
BASSIR	Ahlam	Gynécologie – Obstétrique B
BELBARAKA	Rhizlane	Oncologie Médicale
BELKHOU	Ahlam	Rhumatologie
BENALI	Abdeslam	Psychiatrie (Militaire)
BEN DRISS	Laila	Cardiologie (Militaire)
BENCHAMKHA	Yassine	Chirurgie réparatrice et plastique
BENHADDOU	Rajaa	Ophtalmologie
BENHIMA	Mohamed Amine	Traumatologie-orthopédie B
BENJILALI	Laila	Médecine interne
BENZAROUEL	Dounia	Cardiologie
BOUCHENTOUF	Rachid	Pneumo-phtisiologie (Militaire)
BOUKHANNI	Lahcen	Gynécologie – Obstétrique B
BOURRAHOuat	Aicha	Pédiatrie
BSSIS	Mohammed Aziz	Biophysique
CHAFIK	Rachid	Traumatologie-orthopédie A
DAROUASSI	Youssef	Oto-Rhino – Laryngologie (Militaire)
DIFFAA	Azeddine	Gastro - entérologie

DRAISS	Ghizlane	Pédiatrie A
EL AMRANI	Moulay Driss	Anatomie
EL ANSARI	Nawal	Endocrinologie et maladies métaboliques
EL BARNI	Rachid	Chirurgie Générale (Militaire)
EL BOUCHTI	Imane	Rhumatologie
EL BOUIHI	Mohamed	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
EL HAOUATI	Rachid	Chirurgie Cardio Vasculaire
EL HAOURY	Hanane	Traumatologie-orthopédie A
EL IDRISSI SLITINE	Nadia	Pédiatrie (Néonatalogie)
EL KARIMI	Saloua	Cardiologie
EL KHADER	Ahmed	Chirurgie Générale (Militaire)
EL KHAYARI	Mina	Réanimation médicale
EL MEHDI	Atmane	Radiologie (Militaire)
EL MGHARI TABIB	Ghizlane	Endocrinologie et maladies métaboliques
EL OMRANI	Abdelhamid	Radiothérapie
FADILI	Wafaa	Néphrologie
FAKHIR	Bouchra	Gynécologie – Obstétrique A
FAKHIR	Anass	Histologie -embryologie cytogénétique
FICHTALI	Karima	Gynécologie – Obstétrique B
HACHIMI	Abdelhamid	Réanimation médicale
HAJJI	Ibtissam	Ophtalmologie
HAOUACH	Khalil	Hématologie biologique

HAROU	Karam	Gynécologie – Obstétrique B
HOCAR	Ouafa	Dermatologie
JALAL	Hicham	Radiologie
KADDOURI	Said	Médecine interne (Militaire)
KAMILI	El ouafi el aouni	Chirurgie – pédiatrique générale
KHOUCHANI	Mouna	Radiothérapie
LAGHMARI	Mehdi	Neurochirurgie
LAKMICH	Mohamed Amine	Urologie
LAKOUICHMI	Mohammed	Chirurgie maxillo faciale et Stomatologie (Militaire)
LOUHAB	Nissrine	Neurologie
MADHAR	Si Mohamed	Traumatologie-orthopédie A
MAOULAININE	Fadlmrabihrabou	Pédiatrie (Néonatalogie)
MARGAD	Omar	Traumatologie – Orthopédie B (Militaire)
MATRANE	Aboubakr	Médecine Nucléaire
MOUAFFAK	Youssef	Anesthésie - Réanimation
MOUFID	Kamal	Urologie (Militaire)
MSOUGGAR	Yassine	Chirurgie Thoracique
NARJIS	Youssef	Chirurgie générale
NOURI	Hassan	Oto-Rhino-Laryngologie
OUALI IDRISSE	Mariem	Radiologie
OUBAHA	Sofia	Physiologie

OUERIAGLI NABIH	Fadoua	Psychiatrie (Militaire)
QACIF	Hassan	Médecine Interne (Militaire)
QAMOUSS	Youssef	Anesthésie - Réanimation (Militaire)
RABBANI	Khalid	Chirurgie générale
RADA	Noureddine	Pédiatrie A
RAIS	Hanane	Anatomie-Pathologique
ROCHDI	Youssef	Oto-Rhino-Laryngologie
SAMLANI	Zouhour	Gastro - entérologie
SERHANE	Hind	Pneumo-Phtisiologie
SORAA	Nabila	Microbiologie virologie
TAZI	Mohamed Illias	Hématologie clinique
ZAHLANE	Mouna	Médecine interne
ZAHLANE	Kawtar	Microbiologie virologie
ZAOUI	Sanaa	Pharmacologie
ZIADI	Amra	Anesthésie - Réanimation



DEDICACES

*Tout d'abord, louange à «**ALLAH** » qui m'a guidée sur le droit chemin tout au long du travail et m'a inspirée les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.*

A mes chers parents

Ma mère **NAIMA TAKY**

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblée avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait

Mon père **MOHAMED HOUARI**

Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soient-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter.

Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain, et je serai toujours de mon mieux pour rester votre fierté et ne jamais vous décevoir.

Que Dieu le tout puissant vous préserve, vous accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit et vous protège de tout mal

A mes chers frères **NAOUFAL & SOUHAIB HOUARI**

Mes chers frères qui me sont le père et la mère,

les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Mes anges gardiens et mes fidèles accompagnants dans les moments les plus délicats de cette vie mystérieuse.

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

A mes chères sœurs **FIRDAOUSS, CHAYMAA & OUMAYMA HOUARI**

Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte,

ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et

les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien être.

C'est à travers vos encouragements que j'ai opté pour cette noble profession et c'est à travers vos critiques que je me suis réalisée. J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez fondés en moi.

Je vous rend hommage par ce modeste travail en guise

de ma reconnaissance éternelle et de mon amour infini

A ma tante et sœur **RACHIDA HOUARI** *et ses filles* **HADIL, IBTIHAL &**

INASS. *A mes tantes* **AMAL, ZHOUR et KHADIJA HOUARI** *et leurs maris*
Aucun mot ne pourrait exprimer l'attachement, l'amour et la tendresse que j'éprouve pour vous. Je prie le bon
Dieu de me donner la force et les moyens de toujours prendre soin de vous.

A ma nièce, ma petite **FATIMA EZZAHRA HOUARI**
Je t'aime très fort et j'espère que tu sois fière de ta tante.
Que dieu te garde pour moi. Que l'avenir te réserve tout le bonheur et la réussite

A la mémoire de **Mes Grands Parents Maternels** *et de mon oncle*
MOHAMED TAKY
Vous avez été toujours dans mon esprit et dans mon cœur. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour,
l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Que Dieu vous accorde sa miséricorde. Vous
me manquez

A ma famille paternelle : **HOUARI**
Que Dieu vous protège
A ma famille maternelle : **TAKY**
Que Dieu vous garde

A mon cousin **YASSIR HOUARI**
qui m'a soutenue et encouragée durant toutes ces
années, je lui dédie ce travail et le remercie du fond du cœur d'avoir répondu présent quand j'en
avais besoin et de m'avoir remonté le moral dans les moments de doute.

A mes amies : **HIND KAROUN, BOUCHRA LACHKAR, AMAL ZOURAIR,**
SANAE JABBAR, FATIMA EZZAHRA LHATTAB, ASMAE AMRAUNE,
HANANE LACHHAB
Les plus adorables filles que j'ai rencontrées sur mon chemin,
merci pour votre amour, votre tendresse, votre fidélité et pour les moments de joie et même de déception que j'ai
passés en votre compagnie.
Veuillez trouver dans mon modeste travail l'expression de mes
sentiments les plus profonds.
Je vous aime

Aux internes du **CHR Beni-mellal: M.RAMI, M.AMMARI, M.BOUAZAOUI,**
A.AMOR, I.MINAOUI, N.CHERQUAOUI et M.BENALLAL

Les garçons vous êtes des frères pour moi, merci pour les bons moments que j'ai partagés et je partagerai avec vous.

Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma reconnaissance et de ma gratitude
Aux docteurs **A.LAARABI, S.ABOUTOUFAIL, A.LAMHANI, I.HAJJI et S.AABID,**
R. ALLALI

Vous avez été pour moi des véritables frères, vous m'avez toujours soutenue.
Aujourd'hui je vous dédie ce travail en guise de reconnaissance de votre patience,
votre affection et vos encouragements

Puisse Dieu vous garde en bonne santé et vous comble de joie et prospérité
A mes amis **MUSTAPHA FATEH, TAHA BASSIT et**
YOUNESS AIT RAHOU

En témoignage de mon attachement et de ma grande considération.
J'espère que vous trouverez à travers ce travail l'expression de mes sentiments les plus chaleureux.

A professeur MUSTAPHA BOUDRAA et toute l'équipe du conservatoire de
musique de Béni-Mellal

A celui qui m'a donné confiance en moi et m'a permis de croire à mes rêves. Votre affection et votre soutien m'ont été d'un grand secours au long de ma vie professionnelle et personnelle. Veuillez trouver dans ce modeste travail ma reconnaissance et ma gratitude les plus sincères

A tous mes amis et collègues de promotion.

A tous ceux ou celles qui me sont chers et que j'ai omis involontairement de citer.

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

A Tous Mes enseignants tout au long de mes études.

Et a tous ceux qui feront partie de ma vie.....

Que Dieu vous bénisse et vous comble



REMERCIEMENTS

A Notre Maitre et Président de thèse :
Professeur A. RAJI

Vous m'avez fait un grand honneur en acceptant aimablement la présidence de mon jury de thèse. Votre modestie jointe, à vos compétences professionnelles et humaines seront pour nous un exemple dans l'exercice de notre profession. Veuillez trouver ici, l'expression de mon respect et de ma très haute considération.

A notre Maitre et Rapporteur de thèse :
Professeur L. ADERDOUR

Je suis très touchée par l'honneur que vous m'avez fait en acceptant de me confier ce travail. Vous m'avez éblouie par votre sérieux, votre sympathie, votre modestie, votre honnêteté, et toutes vos qualités humaines. Je vous remercie infiniment pour avoir consacré à ce travail une partie de votre temps précieux et de m'avoir guidée avec rigueur et bienveillance.

A notre Professeur et Juge :
Professeur M. AMINE

Je suis infiniment sensible à l'honneur que vous m'avez fait en acceptant de siéger parmi mon jury de thèse. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude pour votre bienveillance et votre simplicité avec lesquelles vous m'avez accueillie. Veuillez trouver ici, chère Professeur, le témoignage de ma grande estime et de ma sincère reconnaissance.

A notre Maitre et Juge :
Professeur B .BOUAITY

Veuillez accepter Professeur, mes vives remerciements pour l'intérêt que vous avez porté à ce travail en acceptant de faire partie de mon jury de thèse. Veuillez trouver ici, Professeur, l'expression de mon profond respect.

A notre Maitre et Juge :

Professeur H. AMMAR

Je vous remercie de la spontanéité et l'extrême gentillesse avec lesquelles vous avez bien voulu accepter de juger ce travail. Veuillez trouver ici, cher Maître, le témoignage de ma profonde reconnaissance et de mon grand respect.

A Professeur S.RAGHAY et son équipe du LAMAI A M.KAMOUNI et à Mme.K.JALAL

Je vous remercie d'avoir accepté de collaborer à ce travail et de m'avoir fait partager vos visions des choses et surtout vos grandes connaissances dans le domaine de l'informatique.

Je vous remercie pour vos efforts, le temps que vous avez consacré pour réussir ce projet et aux solutions adéquates aux difficultés techniques posées. Je vous remercie pour votre présence et disponibilité, et pour votre sympathie dont je suis témoin.

*Je remercie de plus tous les propriétaires des sites que j'ai utilisés intensément durant cette thèse. Sans eux, mes conditions de travail auraient sans doute été très différentes et beaucoup moins agréables. Bien que je ne les aie jamais rencontrés je remercie les professeurs **R.PUJOL, B. PLETSCH, N.BIRCH, J. DIRCKX, W. HAOBING***

pour leur générosité, et de m'avoir permis la réutilisation de leurs précieuses créations dans ce modeste travail.

A tous les enseignants de la FMPM,

Avec ma reconnaissance et ma haute considération.

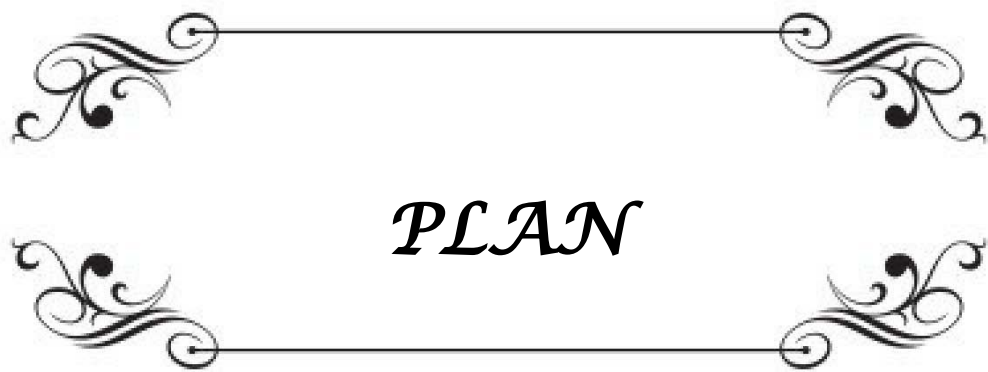
« Sincère reconnaissance »

A decorative rectangular frame with ornate scrollwork at each corner, enclosing the title text.

ABBREVIATIONS

Liste des abréviations

AAP	: Artère auriculaire postérieure
ATM	: Articulation temporo-mandibulaire
ATS	: Artère temporale superficielle
CCE	: Cellule ciliée externe
CCI	: Cellule ciliée interne
FC	: Fenêtre cochléaire
FMPM	: Faculté de Médecine et de Pharmacie de Marrakech
FST	: Faculté des Sciences techniques
FV	: Fenêtre vestibulaire
MAE	: Méat acoustique externe
MAI	: Méat acoustique interne
MET	: Microscopie électronique
Muscle SCM	: Muscle sterno-cléido-mastoïdien
NA	: Nomina Anatomica
OE	: Oreille externe
OI	: Oreille interne
OM	: Oreille moyenne



PLAN

INTRODUCTION	1
MATERIELS ET METHODES	3
ANATOMIE MORPHOLOGIQUE	7
I. Anatomie de l'os temporal.....	8
1- La partie pétreuse ou rocher.....	8
2- La partie squameuse ou écaille.....	9
3- La partie tympanique de l'os temporal.....	9
II. Anatomie de l'oreille externe.....	14
1- Anatomie du pavillon.....	15
1.1- La situation générale.....	15
1.2- La forme.....	16
1.3- La charpente cartilagineuse.....	18
1.4- Le revêtement cutané.....	18
1.5- Le système musculo-ligamentaire.....	19
2- Anatomie du méat acoustique externe.....	21
2.1- Les dimensions.....	21
2.2- La morphologie.....	22
3- La vascularisation de l'oreille externe.....	24
3.1- La vascularisation artérielle.....	24
3.2- La vascularisation veineuse.....	25
3.3- Le drainage lymphatique.....	25
4- L'innervation de l'oreille externe.....	28
III. Anatomie de l'oreille moyenne.....	29
1- La systématisation de l'oreille moyenne à l'intérieur de l'os temporal.....	30
2- Anatomie de la caisse du tympan.....	32
2.1- Les parois de la caisse.....	32
2.2- Le contenu de la caisse.....	47
2.3- La systématisation de la caisse du tympan.....	55
3- Anatomie des cavités mastoïdiennes.....	60
3.1- L'antre mastoïdien.....	61
3.2- Les cellules mastoïdiennes.....	62
4- Anatomie de la trompe d'eustache.....	63
4.1- La partie latérale purement osseuse.....	67
4.2- La partie médiale cartilagineuse.....	68
4.3- Les rapports et les moyens de fixité de la trompe.....	71
5- La vascularisation de l'oreille moyenne.....	72
5.1- la vascularisation artérielle.....	72
5.2- La vascularisation veineuse.....	75
5.3- Le drainage lymphatique.....	75
6- L'innervation de l'oreille moyenne.....	75
6.1- L'innervation motrice.....	75
6.2- L'innervation sensitive.....	75

IV. Anatomie de l'oreille interne.....	76
1- Le labyrinthe osseux.....	77
1-1 Le vestibule.....	78
1-2 Les canaux semi-circulaires.....	86
1-3 Le limaçon : cochlée.....	88
1-4 L'aqueduc vestibulaire.....	94
1-5 L'aqueduc du limaçon.....	94
2- Le labyrinthe membraneux.....	96
2-1 Le labyrinthe membraneux antérieur : Le canal cochléaire.....	99
2-2 Le labyrinthe membraneux postérieur.....	107
3- Les compartiments liquidiens de l'oreille interne.....	117
4- Les rapports de l'oreille interne.....	119
5- La vascularisation de l'oreille interne.....	121
5.1- La vascularisation artérielle.....	121
5.2- La vascularisation veineuse.....	123
6- L'innervation de l'oreille interne.....	124
6.1- Le nerf cochléaire.....	124
6.2- Le nerf vestibulaire.....	125
6.3- Les autres systèmes d'innervation cochléaire.....	126
ANATOMIE FONCTIONNELLE.....	128
I- L'audition.....	129
1- Les propriétés physiques du son.....	129
2- La physiologie de l'oreille externe.....	134
3- La physiologie de l'oreille moyenne.....	136
4- La physiologie de l'oreille interne.....	138
II- la physiologie vestibulaire :.....	142
1- la physiologie des canaux semi-circulaires et des crêtes ampullaires.....	143
2- La physiologie des organes et des macules otolithiques.....	145
CONCLUSION.....	147
RESUMES.....	149
BIBLIOGRAPHIE.....	156



INTRODUCTION

L'oreille est un organe paire et symétrique, situé latéralement de chaque côté du crâne dans l'os temporal. Elle représente l'appareil auditif périphérique. Elle joue un rôle important dans l'équilibre par son appareil vestibulaire. On lui distingue trois parties : L'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne, chaque structure assure une fonction précise.

L'oreille contient un grand nombre de structures complexes dans un espace restreint. Son anatomie tridimensionnelle et son rôle physiologique sont difficiles à assimiler par les étudiants des disciplines médicales ainsi que les chirurgiens otorhinolaryngologistes en formation. Les outils traditionnels utilisent des coupes anatomiques en deux dimensions, aujourd'hui les méthodes pédagogiques sont révolutionnées par le développement de nouvelles techniques d'imagerie médicale de la technologie de l'information et de la robotique. Réaliser un modèle virtuel en trois dimensions serait un outil précieux et nécessaire pour l'apprentissage de l'anatomie de l'oreille et de l'os temporal humain. Le but de notre travail, fait en collaboration avec des ingénieurs de la faculté des sciences et techniques (FST) de Marrakech, est de fournir un outil pédagogique interactif tridimensionnel virtuel de l'oreille et de l'os temporal. La réalité virtuelle peut aussi aider à la planification chirurgicale en aidant le chirurgien otorhinolaryngologiste de comprendre les relations spatiales complexes des différentes structures anatomiques contenues dans l'os temporal.

Il est important de mentionner que le travail présenté, surtout dans sa partie technique, est le fruit d'une collaboration entre notre prestigieuse faculté (la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Marrakech FMPM) et la FST de Marrakech. Cet rapprochement entre les domaines de la médecine et ceux des sciences de l'ingénieur au niveau des thèses de doctorat, est une première expérience qui doit se multiplier pour le développement de la recherche scientifique interdisciplinaire.



MATÉRIELS
&
METHODES

Ce travail consiste à reconstruire l'anatomie tridimensionnelle de l'oreille sur le plan morphologique et fonctionnel. Il est fait en collaboration avec le Laboratoire de Mathématique Appliquée en Informatique (LAMAI) de la Faculté des Sciences Techniques (FST) de Marrakech.

I. Les logiciels utilisés dans le making-up de l'application :

Nous avons utilisé des logiciels open-source notamment : HTML5 ; Java script ; CSS ; GIMP ; AMAYA ; Blender 3D, PITIVI, OPENSHOT.

Le **HTML5** (*L'Hypertext Markup Language*), est le format de données conçu pour représenter les pages web. C'est un langage de balisage permettant d'écrire de l'hypertexte, d'où son nom. HTML permet également de structurer sémantiquement et de mettre en forme le contenu des pages, d'inclure des ressources multimédias dont des images, des formulaires de saisie, et des programmes informatiques. Il permet de créer des documents interopérables avec des équipements très variés de manière conforme aux exigences de l'accessibilité du web.

Le **JavaScript** est un langage de script incorporé dans un document HTML. Historiquement il s'agit même du premier langage de script pour le Web. Ce langage est un langage de programmation qui permet d'apporter des améliorations au langage HTML en permettant d'exécuter des commandes du côté client, c'est-à-dire au niveau du navigateur et non du serveur web.

Le **CSS** (*Cascading Style Sheets : feuilles de style en cascade*) est un langage informatique qui sert à décrire la présentation des documents HTML.

Le **GIMP** (GNU Image Manipulation Program) est un logiciel libre et gratuit de traitement d'images matricielles (dessin, retouche, animation, etc.). Il est souvent présenté comme une alternative libre au logiciel Adobe Photoshop. Le but avoué de ce logiciel étant d'être plus attractif pour les utilisateurs habitués à Photoshop tout en leur offrant une alternative libre à leurs travaux graphiques quotidiens. Le développeur à l'origine du projet espère ainsi convertir les utilisateurs de copies partagées illicites (piratées) de Photoshop. En effet, le logiciel suit la

philosophie des logiciels libres : offrir à tous la possibilité d'accéder à la technologie ainsi que le libre accès aux sources du logiciel.

Le **Amaya** est un éditeur HTML libre. Il se comporte comme un navigateur web traditionnel, mais il est possible à tout moment de modifier le contenu de la page web visitée et ainsi d'utiliser les fonctionnalités d'édition du logiciel.

Le **Blender** est un logiciel libre de modélisation, d'animation et de rendu 3D. Il dispose de fonctions avancées de modélisation, de sculpture 3D, de dépliage UV, de texturage, de rigging, d'armaturage, d'animation 3D, et de rendu. Il gère aussi le montage vidéo non linéaire, la composition, la création nodale de matériaux, la création d'applications 3D interactives, ainsi que diverses simulations physiques telles que les particules, les corps rigides, les corps souples et les fluides. Disponible dans de nombreuses langues, Blender est également disponible sur plusieurs plates-formes telles que Microsoft Windows, Mac OS X, GNU/Linux, IRIX, Solaris, FreeBSD, SkyOS, MorphOS et Pocket PC. De plus, c'est un programme extensible (ajout de scripts) à l'aide du langage Python.

Le **PiTiVi** est un logiciel libre de montage vidéo. Il peut être utilisé pour réaliser également des diaporamas vidéos en montant aussi bien des petits films (très courants sur les appareils photo actuels), des photos et de la musique. Basé sur Gstreamer (moteur utilisé par d'autres applications pour lire les fichiers multimédia). Il accepte une multitude de formats multimédia. Son utilisation se veut simple et sa prise en main rapide. Du fait de sa relative jeunesse, ce logiciel peut encore renfermer quelques bugs.

OpenShot Vidéo Editor est un éditeur vidéo non-linéaire libre. Il intègre le moteur Blender pour créer des titres et effets (feux d'artifices, jeux de lumières, neige, mappemonde animée) évolués. Le projet, initié par Jonathan Thomas, a démarré en août 2008, avec pour objectif de fournir un éditeur vidéo stable, libre, agréable, performant et d'utilisation facile.

II. les vidéos et les animations utilisées :

Les vidéos et les animations tridimensionnelles utilisées sont extraites du site de l'université d'Aston. Nous avons utilisé aussi des présentations figurants dans des sites publics notamment :

- <http://www.cochlea.org/spe> : Voyage au centre de l'audition.
- <http://www.neuroreille.com/promenade/>: Promenade autour de la cochlée.
- <http://commons.wikimedia.org>
- <http://www.neuroreille.com/levestibule/index.htm> : Promenade dans l'équilibre.

Toutes les vidéos ont été utilisées avec respect des droits de l'auteur après demande d'autorisation de réutilisation.

III. L'enregistrement des commentaires :

L'enregistrement des commentaires a été fait au service audiovisuel de la FMPM sous la direction de Mr. My Hassan TALHAH.

IV. La nomenclature utilisée :

Dans ce travail, nous avons utilisé la nouvelle nomenclature de la Nomina Anatomica(NA). La NA est une classification anatomique internationale concernant l'anatomie humaine. La terminologie anatomique est une base essentielle pour une bonne communication entre médecins et scientifiques, elle est faite dans le but d'uniformiser les termes afin d'éliminer les différences entre pays, causes de confusions importantes, une même structure anatomique étant connue sous différents noms.



ANATOMIE

I. Anatomie de l'os temporal : [1,2]

L'anatomie de l'oreille ne peut être envisagée sans une bonne connaissance du contenant osseux à l'intérieur duquel elle est développée : l'os temporal. Pièce importante du squelette crânien, il participe tout à la fois à la constitution de la voûte crânienne et à la base du crâne [3-5].

Au cours de l'embryogenèse il est constitué de la réunion de trois pièces osseuses : **la partie pétreuse ou rocher**, **la partie squameuse ou écaille**, et **la partie tympanique de l'os temporal** anciennement dénommée tympanal. De formes et de tailles différentes, ces trois éléments participent à l'élaboration des cavités de l'oreille moyenne (OM). Une fois l'ossification du crâne terminée, le temporal se présente comme un os absolument indivisible, dont il est difficile de préciser les limites des trois constituants inauguraux. Seules les nombreuses fissures, qui sont de véritables points de soudure, témoignent de l'aspect initial de l'os temporal (figures 1-4).

1- La partie pétreuse ou rocher :

C'est la portion la plus complexe de l'os temporal, elle a la forme d'une pyramide quadrangulaire dont le grand axe est oblique en avant et en dedans. Sa base est située en dehors et en arrière et son apex, tronqué, est dirigé vers l'avant et en dedans. Deux de ses faces sont supérieures et endocrâniennes : la face antéro-supérieure est en rapport avec le cerveau, la face postéro-supérieure est en rapport avec le cervelet. La rencontre de ses deux faces forme le bord supérieur du rocher. Les deux autres faces sont inférieures et exocrâniennes. La face postéro-inférieure est en rapport avec la surface extérieure de la base du crâne. La dernière face, la face antéro-inférieure dont il n'existe pas de terminologie spécifique dans la Nomina Anatomica (NA), est en grande partie masquée sur un temporal entier par la superposition des deux autres pièces de l'os temporal. Si l'on enlève la partie squameuse et la partie tympanique

de l'os temporal, la portion cachée de cette face est exposée (figure 3). Elle est constituée d'une zone périphérique adhérente aux deux constituants osseux retirés et d'une partie centrale libre et excavée correspondant à la partie médiale des cavités de l'OM. Le fond de cette cavité correspond aux faces internes de la caisse du tympan, des annexes mastoïdiennes et de la partie osseuse de la trompe auditive.

2- La partie squameuse ou écaille :

Elle est située en avant et superficiellement par rapport à la partie pétreuse. Elle se présente sous la forme d'une lame osseuse, avec une portion supérieure verticale et une portion inférieure horizontale, séparées par une longue apophyse : le processus zygomatique. La portion verticale présente un segment rétroméatique qui vient s'unir à la partie pétreuse au niveau de la région mastoïdienne. Elle constitue la face externe des cavités antéro-mastoïdiennes et présente sur sa face exocrânienne le relief de l'épine supraméatique que la NA place au niveau de la partie tympanique. En arrière de l'épine, on reconnaît souvent une région creusée de nombreux orifices vasculaires, la zone criblée rétroméatique, en rapport en profondeur avec l'antre mastoïdien. Le bord interne de la partie horizontale est adossé au tegmen tympani de la partie pétreuse et prend part à la formation du toit de l'antre et de la caisse du tympan. La suture de la partie squameuse et de la partie pétreuse forme la fissure pétrosquameuse visible dans la région mastoïdienne et sur la face endocrânienne de l'os temporal.

3- La partie tympanique de l'os temporal :

C'est le plus petit élément de l'os temporal. Elle est positionnée en avant de la face antéro-inférieure de la partie pétreuse, en dessous du segment horizontal de la partie squameuse qu'elle croise transversalement. Elle a la forme d'un demi-cornet ouvert vers le haut et dirigée selon le même axe que le méat acoustique externe (MAE). Elle forme les parois antérieure, inférieure et une portion de la paroi postérieure du MAE, au fond duquel on retrouve

le sillon tympanique (sulcus tympanicus) dans lequel s'enchâsse l'anneau tympanique. L'espace vacant entre les deux extrémités supérieures du demi-cornet, grande et petite épines tympaniques, est comblé par la partie cupulaire de la partie squameuse.

Le bord supérieur s'articule avec la partie squameuse et la partie pétreuse et réalise la scissure de Glaser qui sépare la fosse mandibulaire en deux segments, dont le seul segment antérieur est articulaire (figure 4). Latéralement, le bord supérieur est en contact avec la partie squameuse et crée la partie postérieure ou latérale de la scissure de Glaser ou fissure tympano-squameuse. Plus en dedans, un prolongement inférieur du tegmen tympani de la partie pétreuse, ou hernie du rocher [6], vient s'intercaler entre les deux os précédents et dédoubler la partie antérieure ou médiale de la scissure de Glaser en une fissure pétro-tympanique en arrière et une fissure pétrosquameuse en avant. Au niveau de la fissure pétro-tympanique, il existe deux orifices qui donnent accès à la caisse du tympan. Le plus latéral est le plus large et laisse passer l'artère tympanique antérieure et le ligament antérieur du marteau. En position plus médiale, on trouve le canal de Huguier dans lequel chemine la corde du tympan. Du fait de sa constitution, le terme de fissure pétro-tympano-squameuse devrait être retenu pour désigner la scissure de Glaser [5].

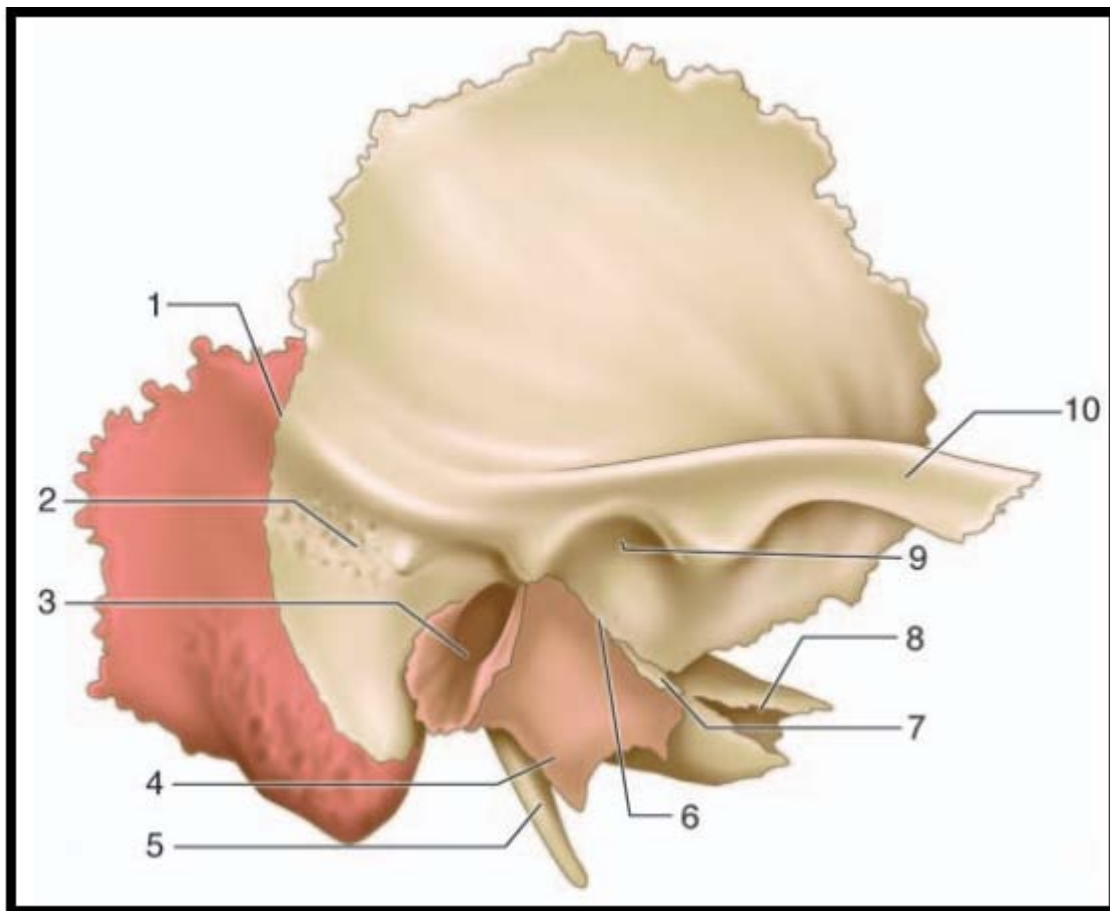


Figure 1. Vue latérale de l'os temporal droit. [6]

1. Fissure pétro-squameuse ; 2. Epine supra-méatique et en arrière zone criblée rétroméatique ; 3. MAE ; 4. Crête vaginale ; 5. Processus styloïde ; 6. Fissure pétro tympano-squameuse (scissure de Glaser) ; 7. Prolongement inférieur du tegmen tympani ; 8. Canal carotidien ; 9. Fosse mandibulaire ; 10. Processus zygomatique.

Les trois portions constitutives de l'os temporal sont représentées par des couleurs différentes (la partie squameuse en beige, la partie tympanique en rouge clair, la partie pétreuse en rouge foncée).

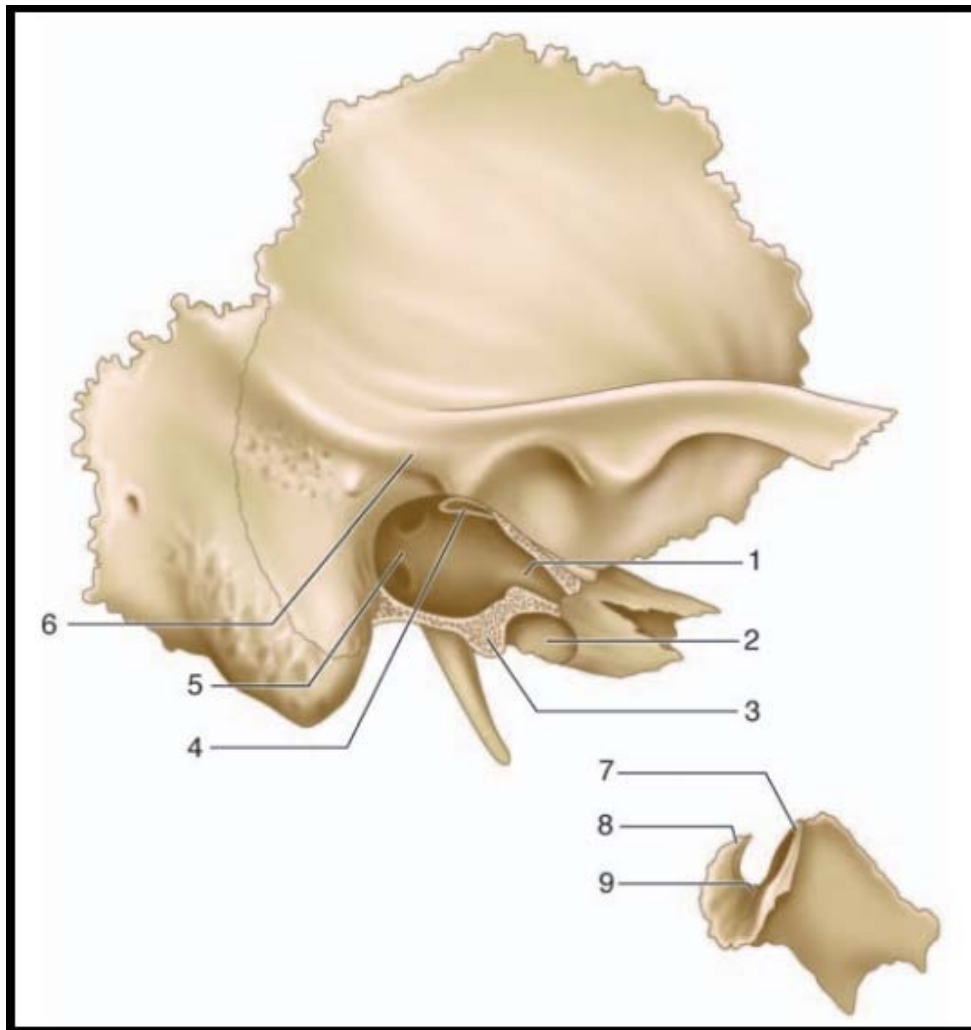


Figure 2. Vue latérale de l'os temporal droit, la partie tympanique est Retirée. [6]

1. Partie osseuse de la trompe auditive ; 2. Canal carotidien ; 3. Zone de contact entre la partie pétreuse et la partie tympanique de l'os Temporal ; 4. Canal du muscle tenseur du tympan ; 5. Caisse du tympan ; 6. Partie cupulaire de la partie squameuse de l'os temporal ; 7. Grande Épine tympanique ; 8. Petite épine tympanique ; 9. Sillon tympanique.

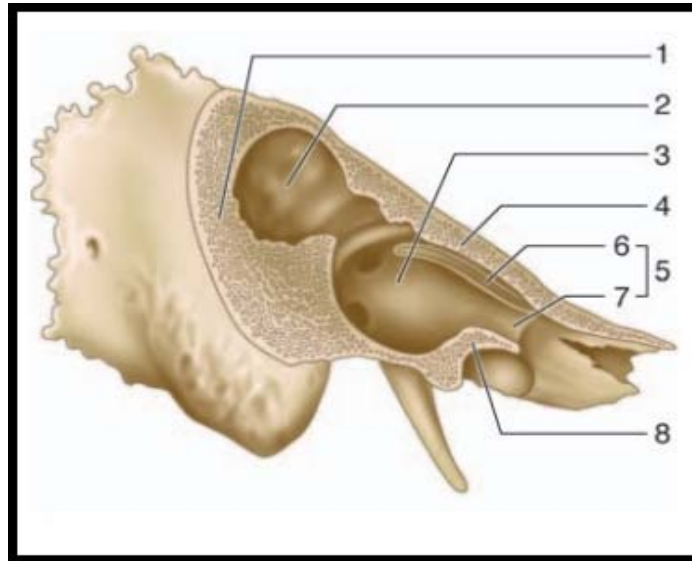
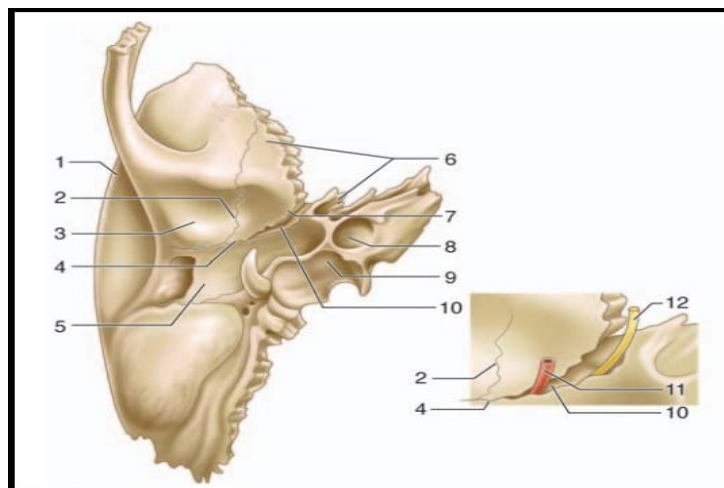


Figure 3. Vue latérale de l'os temporal droit "partie pétreuse" ; [6]

La partie tympanique et la partie squameuse retirées.

1. Zone de contact entre la partie pétreuse et la partie squameuse au niveau de la région mastoïdienne de l'os temporal ;
2. Antre mastoïdien ;
3. Caisse du tympan ;
4. Tegmen tympani (zone de contact entre la partie pétreuse et (6) la partie squameuse de l'os temporal) ;
5. Partie osseuse de la trompe auditive – canal musculo-tubaire : gouttière du muscle tenseur du tympan et gouttière du tube auditif (7) ;
8. Zone de contact entre la partie pétreuse et la partie tympanique de l'os temporal.



**Figure 4. Vue inférieure de l'os temporal droit, [1].
en cartouche fissure pétro-tympano-squameuse (scissure de Glaser).**

1. Partie squameuse de l'os temporal ;
2. Fissure pétrosquameuse ;
3. Fosse mandibulaire ;
4. Fissure tympanosquameuse ;
5. Partie tympanique de l'os temporal ;
6. Partie pétreuse de l'os temporal ;
7. Prolongement inférieur du tegmen tympani (hernie du rocher) ;
8. Canal carotidien ;
9. Fosse jugulaire ;
10. Fissure pétrotympanique ;
11. Artère tympanique antérieure ;
12. Corde du tympan.

II. Anatomie de l'oreille externe : [7]

L'oreille externe (OE) est composée du pavillon et du méat acoustique externe (figure 5). Elle représente une double entité fonctionnelle et esthétique. Cet organe d'architecture complexe intervient en effet dans la localisation et la transmission de l'onde sonore, et participe à l'amplification de certaines fréquences. De plus, l'OE possède une position stratégique dans l'esthétique et l'harmonie de la face, et occupe de ce fait une place importante dans le domaine de la chirurgie réparatrice. La bonne connaissance de son anatomie est également indispensable pour toute chirurgie de l'oreille moyenne (OM).

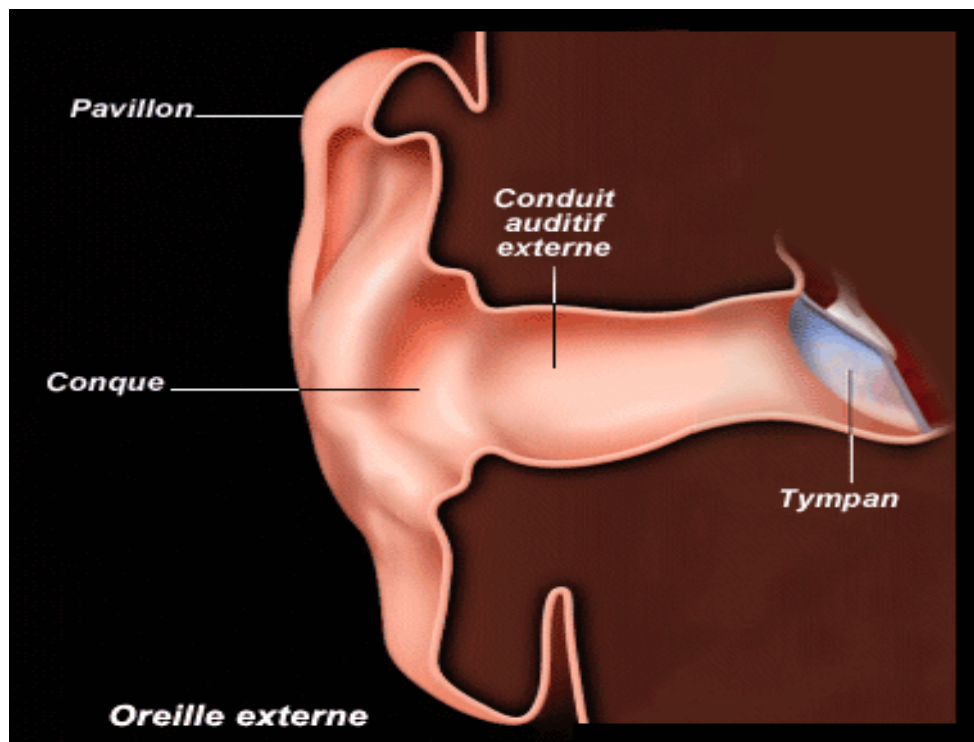


Figure 5. Coupe frontale de l'oreille externe droite vue antérieure. [8]

1. Anatomie du pavillon (auricule):

1-1 La situation générale du pavillon :

Le pavillon de l'oreille est un organe pair, situé en arrière de l'articulation temporo-mandibulaire (ATM) et de la région parotidienne, en avant de la mastoïde, au-dessous de la région temporale (figure 6).

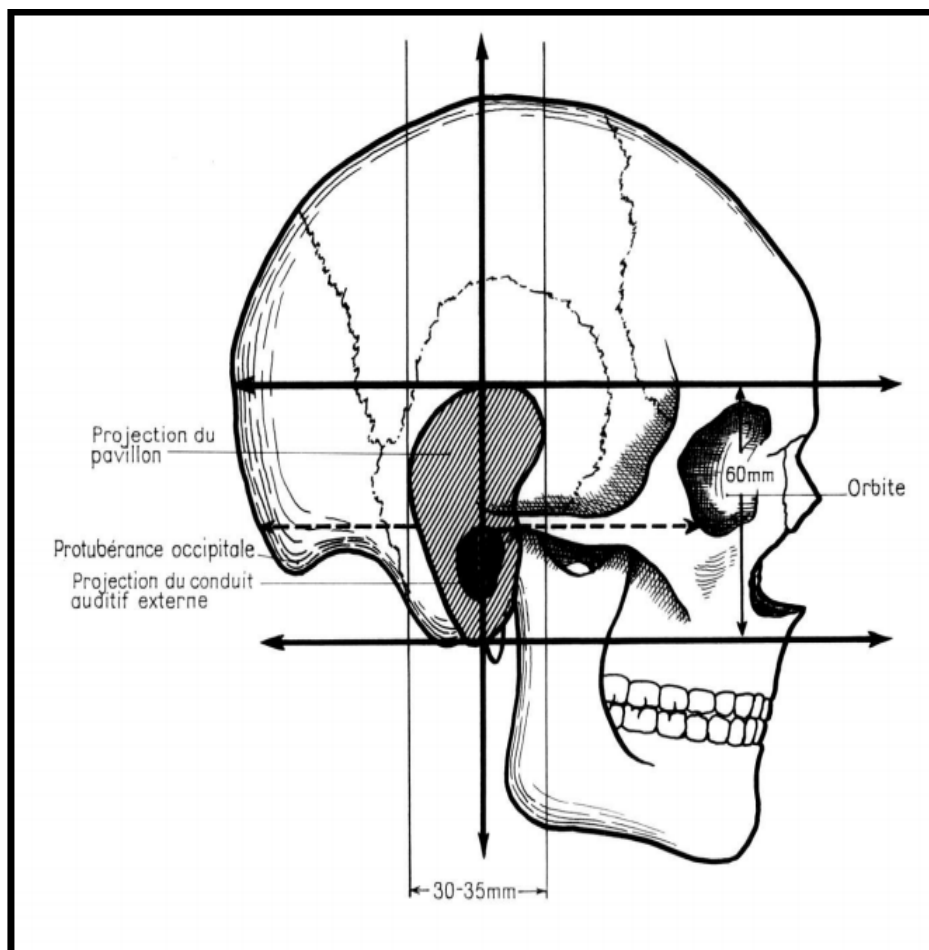


Figure 6. Projection du pavillon de l'oreille droite sur le squelette crânio-facial (Vue latérale). [9]

1-2 **La forme du pavillon :**

On lui décrit une face latérale, un bord libre et une face médiale.

a- **La face latérale :**

Elle est constituée par les saillies et dépressions du cartilage du pavillon moulée par le revêtement cutané, et du lobule sans armature cartilagineuse. Ces saillies circonscrivent la dépression de la conque et du MAE (anciennement nommé conduit auditif externe). Les saillies retrouvées de manière constante sont l'hélix, l'anthélix, le tragus et l'antitragus (figure 7).

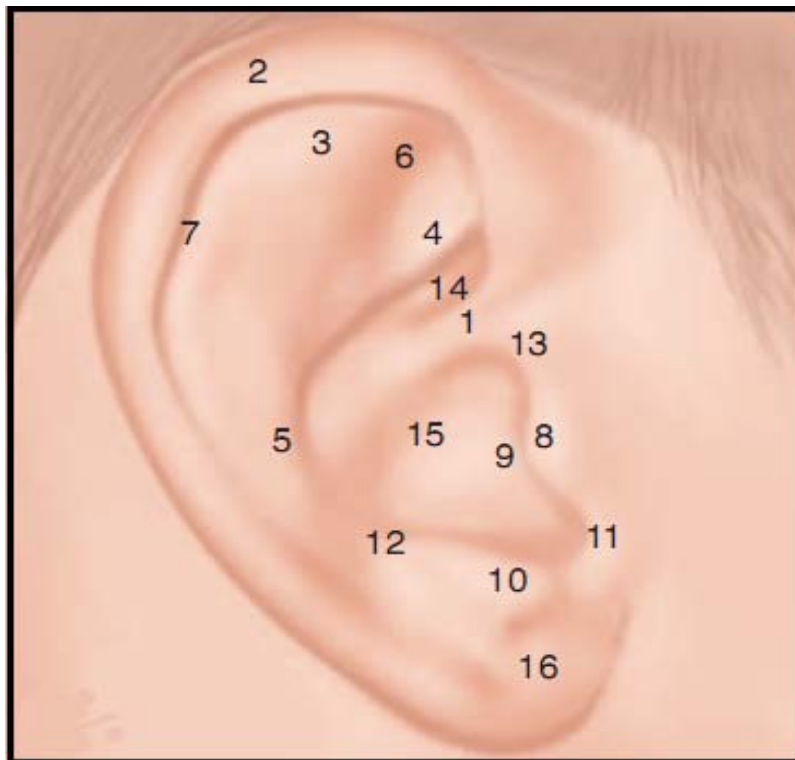


Figure 7. La face latérale du pavillon droit. [7]

1. Racine de l'hélix ; 2. Hélix ; 3. Racine supérieure de l'anthélix ; 4. Racine inférieure de l'anthélix ; 5. Anthélix ; 6. fossette naviculaire ; 7. Scapha ; 8. Tragus ; 9. MAE ; 10. Antitragus ; 11. Echancrure de la conque ; 12. Incisure de l'anthélix ; 13. Incisura anterior auris ; 14. Cymba conchae ; 15. Cavum conchae ; 16. Lobule.

- **L'hélix** : réalise la périphérie des deux tiers supérieurs du pavillon. Il naît au niveau de la partie antérieure de la conque et au-dessus du MAE par une racine qui se porte en avant et en haut pour ensuite s'incurver en formant un arc à concavité

inférieure. Il se termine dans la partie postéro-supérieure du lobule.

- ***l'anthélix*** : est une saillie bifide concentrique à l'hélix, duquel il est séparé par la gouttière scaphoïde de l'hélix ou scapha, il naît parallèlement à la racine de l'hélix, s'incline en haut et en avant pour se diviser en deux saillies, les racines antérieure et postérieure de l'anthélix. La zone délimitée par ces deux racines et l'hélix est nommée fossette naviculaire.
- ***le tragus*** : est une saillie de forme triangulaire, inclinée en arrière et en dehors, à l'aplomb du MAE. Son bord libre peut être convexe ou d'aspect légèrement bituberculeux. Il est séparé de l'hélix par un sillon nommé incisura anterior auris.
- ***l'antitragus*** : est une petite saillie en avant de la naissance de l'anthélix et répond au tragus, dont il est séparé par une échancrure à concavité postéro-supérieure nommée échancrure de la conque ou intertragienne.
- On décrit également une petite dépression située entre l'antitragus et l'anthélix nommée ***sillon postérieur du pavillon ou incisure de l'anthélix*** [10].
- ***La conque*** : est une dépression limitée par l'anthélix en arrière et en haut, la racine de l'hélix et le tragus en avant, l'antitragus en bas. Elle est divisée en deux parties par la racine de l'hélix : cymba conchae en haut et en arrière, cavum conchae en avant et en bas.
- ***Le lobule*** : simple repli cutané sans armature cartilagineuse, fait suite à l'hélix et au tragus.

b- La face médiale :

On lui décrit une partie antérieure adhérente et une partie postérieure libre. La partie libre représente les deux tiers de la largeur du pavillon. Elle est constituée par le négatif des reliefs de la face latérale. La saillie représentée par la dépression de la conque forme l'eminentia conchae. En arrière le sillon nommé fossa anthelicis répond au relief de l'anthélix, et l'eminentia scaphae à la gouttière scaphoïde. La partie antérieure répond au pourtour du MAE. La zone d'adhérence déborde : en arrière sur la région mastoïdienne sur environ 10mm, en haut sur la racine du zygoma sur cette même distance [11]. La jonction des deux zones est marquée par le

sillon rétroauriculaire (Figure 8).

1-3 La charpente cartilagineuse :

La structure cartilagineuse de l'OE est responsable des reliefs et dépressions du pavillon, à l'exception notable du lobule, et lui assure son élasticité. C'est un cartilage réticulé, entouré d'un périchondre épais et nacré, d'une épaisseur de 0,5 à 1mm, maximale au niveau de la conque (figure 8).

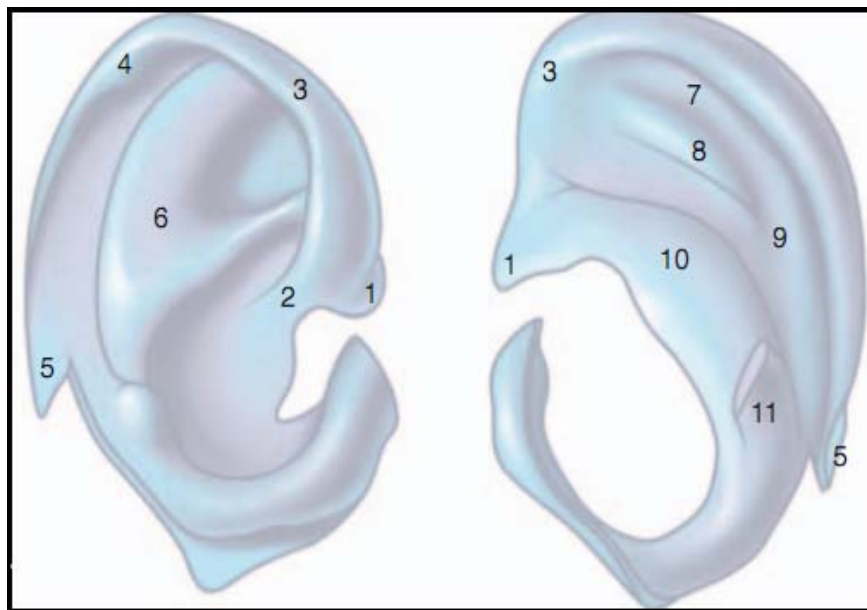


Figure 8. Vues latérale et médiale du cartilage du pavillon droit. [7]

1. Epine de l'hélix. 2. Racine de l'hélix ; 3. Hélix ; 4. Tuberculum auriculæ ; 5. queue de l'hélix ; 6. Anthélix ; 7. Eminentia scapha ; 8. Fossa anthélicis ; 9. Sillon postérieur de l'anthélix ; 10. Eminentia conchæ ; 11. ponticulus.

1-4 Le revêtement cutané :

La peau épouse parfaitement l'ensemble des reliefs des deux faces du pavillon. Très fine et adhérente au plan cartilagineux sur la face latérale, elle est plus épaisse et moins adhérente sur la face médiale et sur la mastoïde, avec la présence de quelques îlots adipeux.

1-5 Le système musculo-ligamentaire :

C'est un système atélique par excellence. L'appareil musculo-ligamentaire du pavillon de l'oreille peut être divisé en deux groupes, intrinsèque et extrinsèque.

a- Les ligaments :

Les ligaments extrinsèques de Valsalva assurent, conjointement aux muscles du même ordre, l'adhérence du pavillon à ses points d'insertion crânienne [11].

- Le ligament antérieur part de l'aponévrose du muscle temporal au dessus de l'arcade zygomatique, puis du tubercule de l'arcade' et se termine au niveau de l'épine de l'hélix, au bord supérieur du tragus.
- Le ligament postérieur unit la corticale mastoïdienne à la convexité postérieure de la conque.
- pour Valsalva, il existe un ligament supérieur qui unit le bord supérieur du MAE à l'épine de l'hélix.

Les ligaments intrinsèques du pavillon très rudimentaire comblent les différentes incisures et unissent les languettes cartilagineuses. Au niveau de la face latérale, deux ligaments combles le sillon postérieur du pavillon et l'incisura anterior auris. Sur la face médiale, deux ligaments extrêmement grêles surplombent la fossa anthelicis et l'eminentia scaphae.

b- Les muscles extrinsèques :

Ils sont associés au groupe des muscles pauciers de la face .on décrit (figure9) :

- Le muscle auriculaire antérieur [13] : est un faisceau très grêle, naissant de l'aponévrose épicroânienne au niveau de la racine du zygoma et se terminant sur l'épine de l'hélix et le bord antérieur de la conque ;
- Le muscle auriculaire supérieur est plus épais, mieux individualisable. Ses fibres naissent de l'épicrâne au dessus du pavillon, se réunissent en un tendon qui se termine sur la fossa anthelicis ;

- Le muscle auriculaire postérieur : naît de l'apophyse mastoïde, au dessous des fibres de l'occipital, en deux ou trois faisceaux qui se terminent au niveau du ponticulus de la conque ;

Certaines descriptions classiques font état d'un quatrième muscle extrinsèque, le muscle temporal superficiel, extrêmement mince, situé entre le muscle auriculaire antérieur et le bord postérieur de l'orbiculaire des paupières, permettant théoriquement de porter le pavillon en haut et en bas.

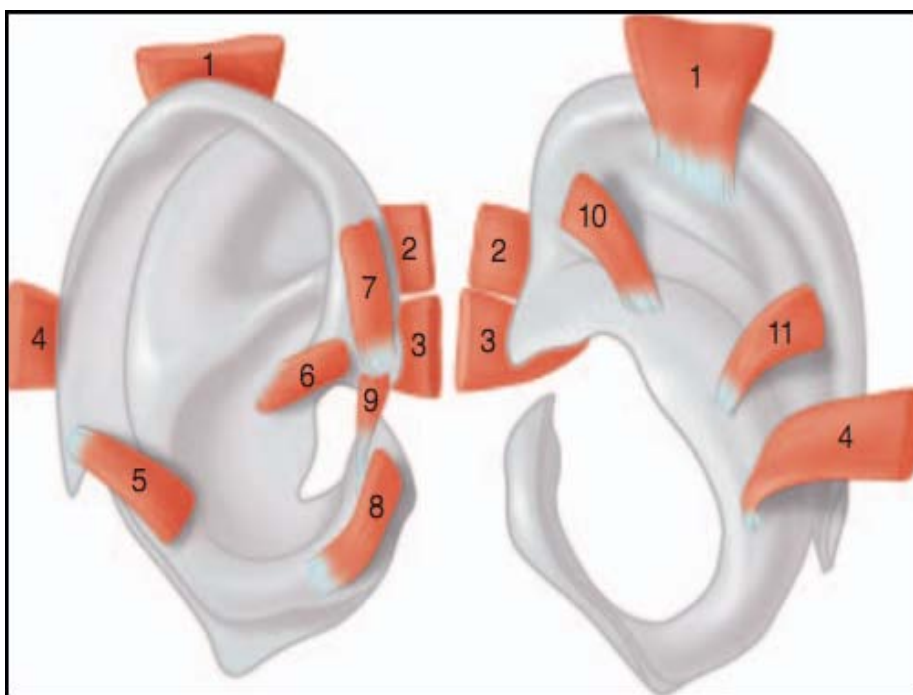


Figure 9. Les muscles du pavillon. [7]

1. Muscle auriculaire supérieur ; 2. Muscle temporal superficiel ; 3. Muscle auriculaire antérieur ; 4. Muscle auriculaire postérieur ; 5 muscle de l'antitragus ; 6. Petit muscle de l'hélix ; 7. Grand muscle de l'hélix ; 8. Muscle du tragus ; 9. Muscle pyramidal ; 10. Muscle oblique ; 11. Muscle transverse.

c- Les muscles intrinsèques :

Ils sont rudimentaires :

- Le grand muscle de l'hélix, reliant verticalement l'épine de l'hélix à la peau du bord antérieur de l'hélix ;

- Le petit muscle de l'hélix, situé à la face latérale de la racine de l'hélix ;
- Le muscle du tragus de Valsalva, formé de fibres situées à la face latérale du cartilage tragien ;
- Le muscle pyramidal de Jung, très inconstant, est constitué par le prolongement de certaines fibres du muscle du tragus vers l'épine de l'hélix ;
- Le muscle de l'antitragus, unit l'antitragus au rebord postéro-inférieur de l'hélix [14];
- Le muscle transverse, situé à la face médiale du pavillon, unit la partie moyenne de l'eminencia conchae à la convexité postérieure de la fossette naviculaire ;
- Le muscle oblique, réalise un trajet similaire au muscle transverse en avant de ce dernier.

2. Anatomie du méat acoustique externe :

Il s'agit d'un canal aérien grossièrement cylindrique, aplati d'avant en arrière, limité en dedans par la membrane tympanique, et ouvert à l'air libre en dehors. Il est formé en dehors d'une portion cartilagineuse, et en dedans d'une portion osseuse (figure 10).

2.1- Les dimensions :

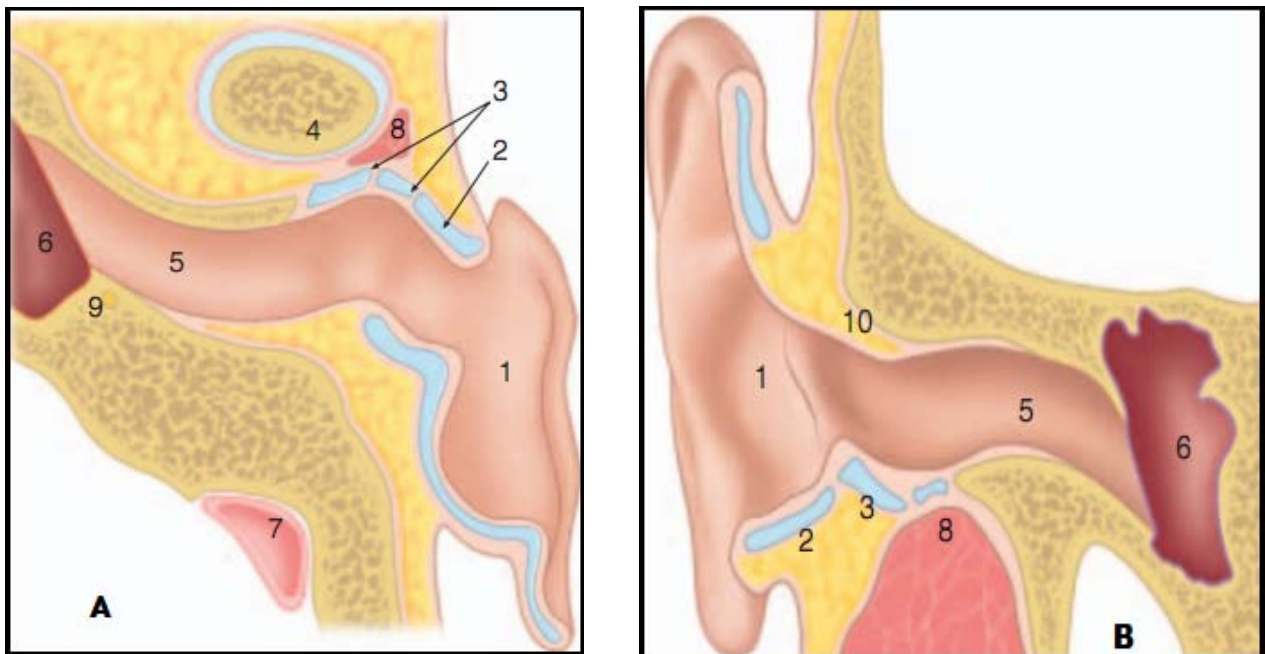
Ce canal mesure environ 25mm, et adopte une direction légèrement oblique de dehors en dedans et d'arrière en avant, formant avec l'axe sagittal du rocher un angle de 80°. Il a une forme sigmoïde à concavité postérieure et inférieure. Sa section, très variable, est en moyenne de 8mm ; elle diminue au niveau de la jonction entre les deux tiers externes et le tiers interne. Ce segment plus étroit est appelé isthme, situé à environ 20mm de l'orifice externe.

Du fait de l'inclinaison de la membrane tympanique en bas, en avant et en dedans, la paroi inférieure du MAE mesure environ 5mm de plus que la paroi supérieure [10].

2.2- La morphologie :

Du fait de sa forme sigmoïde, on peut décrire trois segments au MAE :

- Un segment latéral, oblique en dedans et en avant, suivant l'axe du cartilage tragien ;
- Un segment moyen, formant un coude à concavité postérieure très marquée, au niveau de la jonction entre segment cartilagineux et segment osseux ;
- Un segment médial, réalisant une seconde inflexion antérieure jusqu'au tympan.



**Figure 10. A. coupe transversale du MAE.
B. coupe coronale du MAE. [7]**

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1. conque ; | 6. Caisse du tympan ; |
| 2. Tragus ; | 7. Sinus latéral ; |
| 3. Incisures cartilagineuse di MAE ; | 8. Prolongement parotidien ; |
| 4. Condyle mandibulaire ; | 9. Nerve facial(troisième portion) ; |
| 5. Méat acoustique externe ; | 10. Pars cupularis (mur de la logette). |

a- La portion fibro-cartilagineuse :

Cette portion est en continuité avec la charpente cartilagineuse du pavillon. D'une longueur de 8–9mm, elle est formée par l'union d'une gouttière antéro–inférieure cartilagineuse et d'une gouttière postéro–supérieure fibreuse.

- La gouttière cartilagineuse : elle est en continuité avec le cartilage du tragus, en dedans de l'os tympanal ;
- La gouttière fibreuse : elle ferme en haut et en arrière la portion latérale du MAE. Elle est en relation : en dehors avec le cartilage du pavillon, et en dedans avec le conduit osseux au niveau de l'épine de Henle.

b- La portion osseuse :

Mesurant en moyenne 16mm de longueur, aplatie d'avant en arrière, elle constitue les deux tiers internes du conduit. Elle est constituée par l'os tympanal et la portion sous-zygomatique de l'écaïlle de l'os temporal.

On décrit classiquement quatre parois et deux orifices au MAE:

- **La paroi antérieure** : Elle est constituée par le bord antérieur de l'os tympanal. Cette paroi, concave de haut en bas, se raccorde à angle aigu avec la membrane tympanique. D'une faible épaisseur (2 mm), elle est en rapport en avant avec l'ATM et le prolongement sous-condylien de la glande parotide.
- **La paroi inférieure** : Elle est également formée par la gouttière de l'os tympanal, avec une concavité inférieure dans le sens transversal.
- **La paroi postérieure** : Elle est formée : en dehors par l'apophyse mastoïde du temporal, en dedans par la gouttière du tympanal. Elle réalise la séparation entre les cavités mastoïdiennes et le MAE. Elle est parcourue par la scissure tympano-squameuse. Ses principaux rapports sont : en arrière, les cellules mastoïdiennes et la troisième portion du nerf facial, en bas en avant la partie postérieure de l'atrium.
- **La paroi supérieure** : Formée par la partie squameuse de l'os temporal, elle adopte une concavité inférieure dans le sens sagittal. À sa partie médiale, elle s'incline

fortement en bas et en dedans pour former le mur de la logette (pars cupularis). Ce mur osseux s'affine de haut en bas et limite en dehors l'épitympanum. Son principal rapport supérieur est la méninge temporale et le lobe temporal.

- **L'orifice médial** : Il répond à l'insertion de la membrane tympanique dans son sulcus.
- **L'orifice latéral** : Il correspond à la jonction entre les deux composantes osseuse et fibrocartilagineuse du MAE. On rappellera un caractère osseux très constant au niveau de la zone de jonction postéro-supérieure, l'épine supraméatique de Henle.

c- Le revêtement :

Le revêtement cutané du MAE est en continuité avec celui du pavillon, et adhère fortement avec le périchondre et le périoste de ses deux portions. L'épaisseur cutanée diminue de dehors en dedans, puis ce revêtement participe à la formation de la membrane tympanique.

La portion fibrocartilagineuse du MAE est dotée d'annexes (appareils pilosébacés, glandes cérumineuses) qui sont absentes au niveau de la portion osseuse.

3. La vascularisation de l'oreille externe :

3.1- La vascularisation artérielle :

Le réseau artériel est d'origine carotidienne externe [15-17]. On peut décrire deux axes vasculaires (figure 11 A et B):

- **un réseau antérieur** : issu de l'artère temporale superficielle (ATS). L'artère auriculaire, branche de l'ATS, longe lors d'un trajet ascendant le bord antérieur du tragus et de l'hélix. Elle donne plusieurs branches, le plus souvent au nombre de trois, à destination : de la partie antérieure de l'hélix, de la fossette naviculaire, des racines de l'anthélix, du tragus et du lobule
- **un réseau postérieur** : dépendant de l'artère auriculaire postérieure (AAP), née de la carotide externe ou de l'occipitale. L'AAP possède un trajet ascendant au bord

antérieur de l'apophyse mastoïde, au niveau du sillon rétro auriculaire, en avant du muscle rétro auriculaire. Elle se divise en plusieurs branches destinées à la face médiale du pavillon, et en trois ou quatre branches perforantes. Ces branches perforantes réalisent un réseau anastomotique avec le réseau antérieur issu de l'ATS, très dense au niveau de la conque. L'AAP est en charge de la vascularisation des deux tiers postérieurs de l'hélix, du scapha, de l'anthélix et de l'ensemble de la conque ; elle n'intervient pas dans la vascularisation du lobule.

La vascularisation du MAE est également le fait de la carotide externe : sa portion cartilagineuse dépend des branches de l'ATS et de l'AAP ; la portion osseuse dépend de la maxillaire interne par ses branches tympanique antérieure et auriculaire profonde, à un degré moindre par l'artère stylomastoïdienne issue de l'occipitale ou de l'AAP.

3.2- La vascularisation veineuse :

Le drainage veineux de l'OE se fait par deux réseaux principaux (figure 12) :

- Un réseau antérieur se drainant dans la veine temporale superficielle puis dans la veine jugulaire externe ;
- Un réseau postérieur, se drainant via les veines auriculaire postérieure et occipitale superficielle dans le réseau jugulaire externe ; dans les sinus veineux intracrâniens via la veine émissaire mastoïdienne.

Le drainage du MAE osseux suit ces deux axes et celui de la veine maxillaire interne.

3.3- Le drainage lymphatique :

La connaissance de drainage lymphatique de l'OE prend tout son sens dans la chirurgie carcinologique du pavillon. Celui-ci concerne le pavillon et la portion cartilagineuse du MAE. Il s'effectue par trois voies de drainage (figure 13) :

- **une voie antérieure** : drainant le tiers antérieur de l'hélix, le tragus, la partie antérieure et supérieure du MAE, au niveau du groupe ganglionnaire préauriculaire ou prétragien ;

- **une voie postérieure** : qui draine l'anthélix et le lobule ainsi qu'une partie de la conque. Les collecteurs lymphatiques effectuent un premier relais ganglionnaire mastoïdien au-dessus de l'insertion du muscle sterno-cléido-mastoïdien ;
- **une voie inférieure** : qui assure le drainage de la conque, de la majeure partie de l'hélix et de la paroi inférieure du MAE. Les relais s'effectuent au niveau des ganglions parotidiens et latéraux profonds du cou.

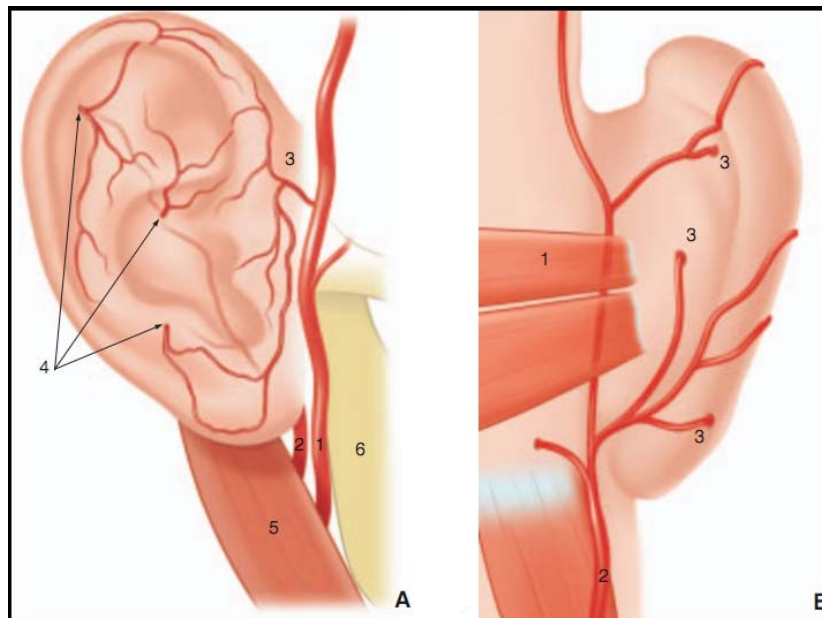


Figure 11. [7]

A. Réseau artériel du pavillon de l'oreille, vue latérale.

1. Artère temporale superficielle (ATS) ; 2. Artère auriculaire postérieure ; 3. Branche auriculaire de l'ATS ; 4. Branches perforantes ; 5. Muscle digastrique ; 6. Angle mandibulaire.

B. Réseau artériel du pavillon, vue postérieure.

1. Muscle auriculaire postérieur ; 2. Artère auriculaire postérieure ; 3. Branches perforante.

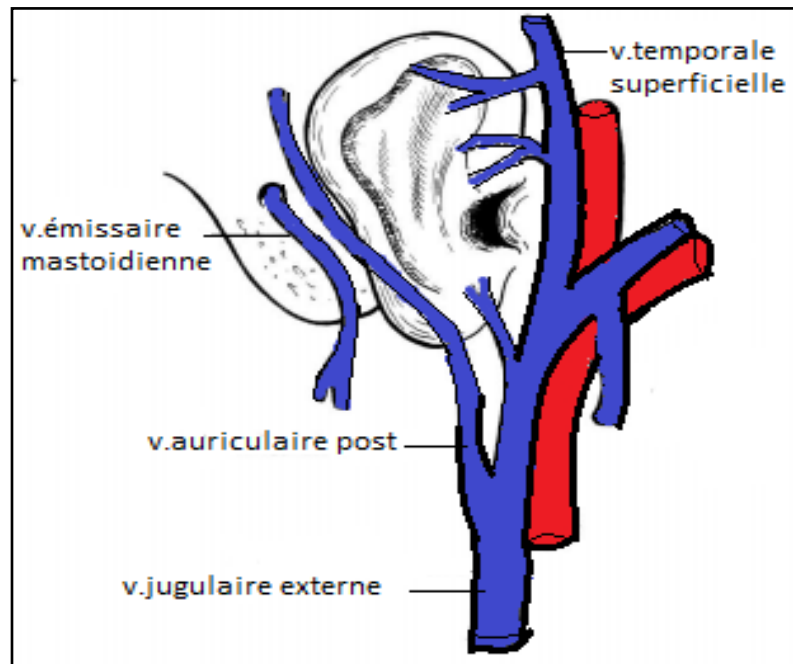


Figure 12. La Vascularisation veineuse de l'oreille externe. [9]

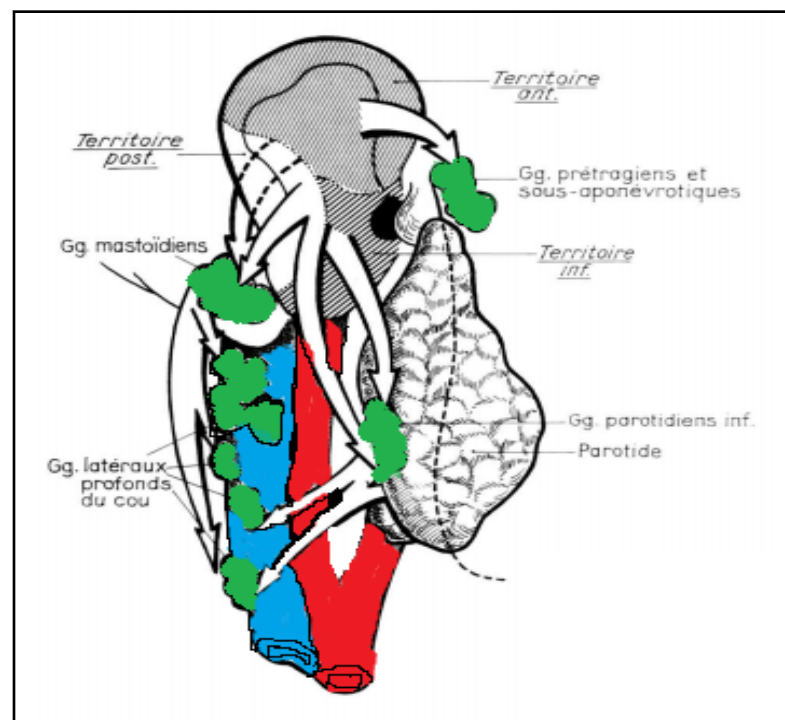


Figure 13. Drainage lymphatique de l'oreille externe. [9]

4. L'innervation de l'oreille externe :

L'innervation sensitive complexe de l'oreille externe est réalisée par quatre nerfs (figure 14) :

- **Le nerf intermédiaire de Wrisberg** : Il réunit les fibres sensibles de la zone de Ramsey-Hunt, comprenant la conque, la partie antérieure de l'anthélix, la racine de l'hélix, la fossette triangulaire, les faces postérieure et inférieure du MAE et du tympan.
- **Le nerf auriculotemporal** : branche du nerf mandibulaire, qui innerve le tragus, la portion ascendante de l'hélix, la face antérieure du MAE et du tympan ;
- **La branche postérieure du nerf grand auriculaire** : issu des racines C2 et C3 du plexus cervical superficiel ; elle innerve le lobule, le tiers postérieur du pavillon à sa face externe ainsi que toute sa face médiale ;
- **Le rameau auriculaire du nerf vague (rameau de la fosse jugulaire)** : qui pénètre dans l'aqueduc du facial par l'ostium introitus, s'anastomose temporairement au VII, sort dans l'espace rétrostylien par le canaliculus mastoideus, s'anastomose à la branche auriculaire postérieure du facial, et se distribue à la face postérieure du pavillon et du MAE [18].

L'innervation motrice est, quant à elle, dévolue du nerf facial.

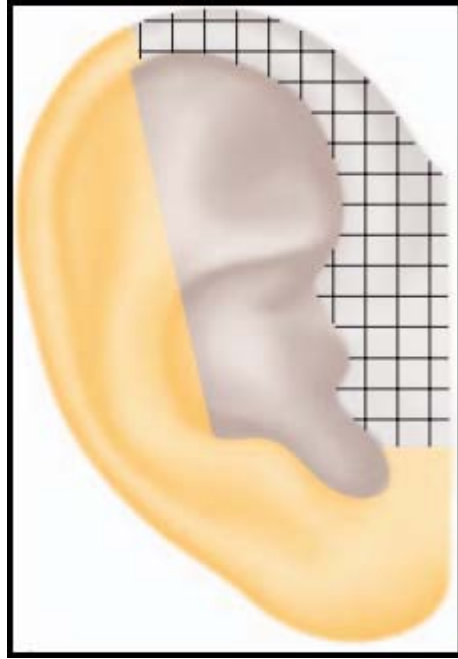


Figure 14. Innervation du pavillon de l'oreille. [7]

En hachuré : nerf trijumeau ; en jaune : plexus cervical superficiel ; en gris : nerf intermédiaire de Wrisberg.

III. Anatomie de l'oreille moyenne: [1]

L'oreille moyenne(OM) est un ensemble de cavités aériennes comprises entre les trois constituants de l'os temporal. Sa partie centrale, plus communément appelée caisse du tympan, contient le système tympano-ossiculaire qui transmet l'onde sonore du monde extérieur jusqu'à l'oreille interne(OI). Sur une même ligne droite sont placées vers l'arrière, les annexes mastoïdiennes et vers l'avant et en bas, le tube auditif qui fait communiquer la caisse avec le rhinopharynx (figure 15).

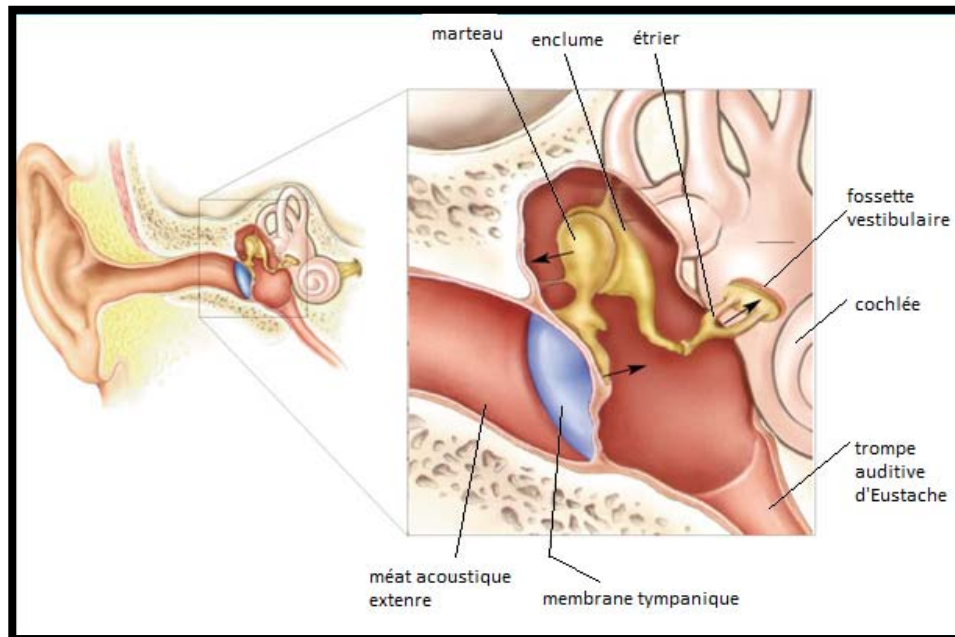


Figure 15. Représentation schématique de l'oreille moyenne coupe frontale.[19]

1. La systématisation de l'oreille moyenne à l'intérieur de l'os temporal :

L'oreille moyenne comprend trois parties :

- les annexes mastoïdiennes, développées vers l'arrière ;
- la caisse du tympan qui contient les osselets de l'ouïe ;
- la trompe auditive, qui rejoint vers l'avant le rhinopharynx.

Ces trois éléments se succèdent d'arrière en avant et de dehors en dedans selon un axe de 40° par rapport à l'axe sagittal du crâne (Fig. 16). Cet axe est habituellement dénommé l'axe aérien de l'oreille moyenne. Il est proche de l'axe de la partie pétreuse de l'os temporal qui réalise une angulation de 53° par rapport au même axe sagittal [20].

Les cavités de l'oreille moyenne sont largement exposées sur un os temporal que l'on aurait débarrassé de ses parties tympanique et squameuse (Fig. 4). La partie pétreuse représente la pièce principale dans laquelle est creusée l'oreille moyenne, les parties tympanique et squameuse représentant le « couvercle » latéral de cet espace.

Un autre axe est habituellement décrit au niveau de l'os temporal et de l'oreille : l'axe sensoriel. Représenté par une ligne passant par les méats acoustiques externe et interne et traversant le labyrinthe, il est perpendiculaire à l'axe sagittal du crâne. Cet axe auditif croise l'axe aérien au niveau de la caisse du tympan, véritable pièce centrale et carrefour de l'oreille.

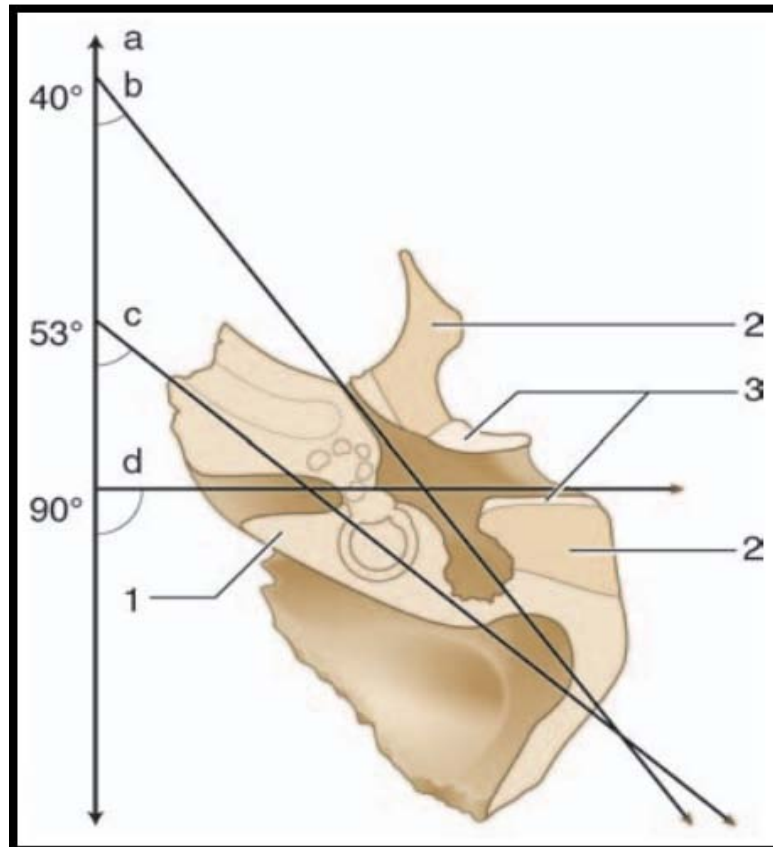


Figure 16. Coupe schématique horizontale de l'os temporal avec représentation des différents axes. [1]

a. Axe sagittal du crâne ; b. Axe aérien de l'oreille moyenne ; c. axe de la partie pétreuse de l'os temporal ; d. axe sensoriel de l'oreille ; 1. Partie pétreuse de l'os temporal ; 2. Partie squameuse de l'os temporal ; 3. Partie tympanique de l'os temporal.

2. Anatomie de la caisse du tympan :

La caisse du tympan se présente comme une cavité parallélépipédique irrégulière à six faces. Cinq de ses faces sont osseuses et la sixième est en grande partie membraneuse, composée par le tympan.

Les dimensions moyennes de cette cavité sont les suivantes :

- longueur : 15 mm ;
- hauteur : elle s'abaisse de l'arrière vers l'avant en passant de 15 mm à 7 mm
- profondeur ou épaisseur : elle varie de 3 mm au centre à 6 mm à la périphérie.

Cette cavité aérienne contient les osselets de l'ouïe et leurs annexes (articulations, ligaments, muscles) et est tapissée par une muqueuse de type aérien. Il convient de décrire les six parois de la caisse puis son contenu.

2.1- Les parois de la caisse :

a. **La paroi latérale: paroi membraneuse :**

Cette paroi est la plus externe et elle est en rapport avec le MAE (figure 17). On décrit deux portions à cette paroi : la membrane du tympan et la partie osseuse périmyringienne.

a-1 La membrane tympanique :

Elle comprend deux segments de taille et de constitution différentes : la pars tensa et la pars flaccida.

- ❖ **La pars tensa** est de nature fibroélastique, peu mobile ; elle représente la membrane tympanique proprement dite interposée entre le MAE et la caisse du tympan. Cette membrane a une forme d'entonnoir dont le sommet, l'ombilic, correspond à l'extrémité distale spatulée du manche du marteau, et est en retrait de 2 mm par rapport à la périphérie (figure 18). Le manche du marteau est visible par transparence sous la forme d'une raie blanchâtre, la strie malléaire, qui se prolonge

vers la partie supérieure de la pars tensa jusqu'à la saillie réalisée par le processus latéral : la proéminence malléaire.

Les dimensions moyennes de la membrane sont 10 mm de hauteur, 9 mm de largeur. Son épaisseur est de 0,05 à 0,09 mm et sa surface de 65 mm² [21] (figure 19). Cette membrane est orientée en avant, en bas et en dehors. L'angle d'inclinaison avec le plan horizontal varie selon l'âge : 30 à 35° à la naissance, 45° chez l'adulte.

La membrane est composée par l'accolement de trois couches (figure 20). La couche externe est cutanée et se trouve en continuité avec la peau du conduit auditif externe. La couche interne muqueuse est constituée par la muqueuse de la cavité tympanique. La couche intermédiaire est fibreuse et on distingue plusieurs types de fibres : une couche externe de fibres radiées tendues entre l'anneau fibrocartilagineux et le manche du marteau où elles s'insèrent du côté opposé à leur origine, une couche interne de fibres circulaires faites d'anneaux concentriques autour de l'ombilic et qui sont plus denses en périphérie, des fibres paraboliques antérieures et postérieures, des fibres arciformes ou semi-lunaires (figure 21).

À sa périphérie, la couche fibreuse de la membrane est épaissie et devient l'anneau fibrocartilagineux, qui vient s'enchâsser dans une rainure, le sillon tympanique (sulcus tympanicus) creusé sur l'extrémité interne de la gouttière de la partie tympanique de l'os temporal. Ce sillon n'est pas visible de l'extérieur car sa berge externe est plus haute que sa berge interne.

❖ *La pars flaccida* est la portion de membrane du tympan située au-dessus des plis malléaires antérieur et postérieur. Vers le haut elle s'insère sur l'incisure tympanique au bord inférieur de la partie cupulaire de la partie squameuse du temporal. Sa forme est triangulaire à sommet inférieur (processus latéral du marteau), et elle mesure 2 mm de haut. Elle constitue la paroi latérale du récessus supérieur de la membrane du tympan (recessus membranae tympani superior) (Figure 36). La pars flaccida est moins rigide que la pars tensa car sa couche moyenne fibreuse est moins épaisse, et l'organisation des faisceaux conjonctifs moins systématisée [20].

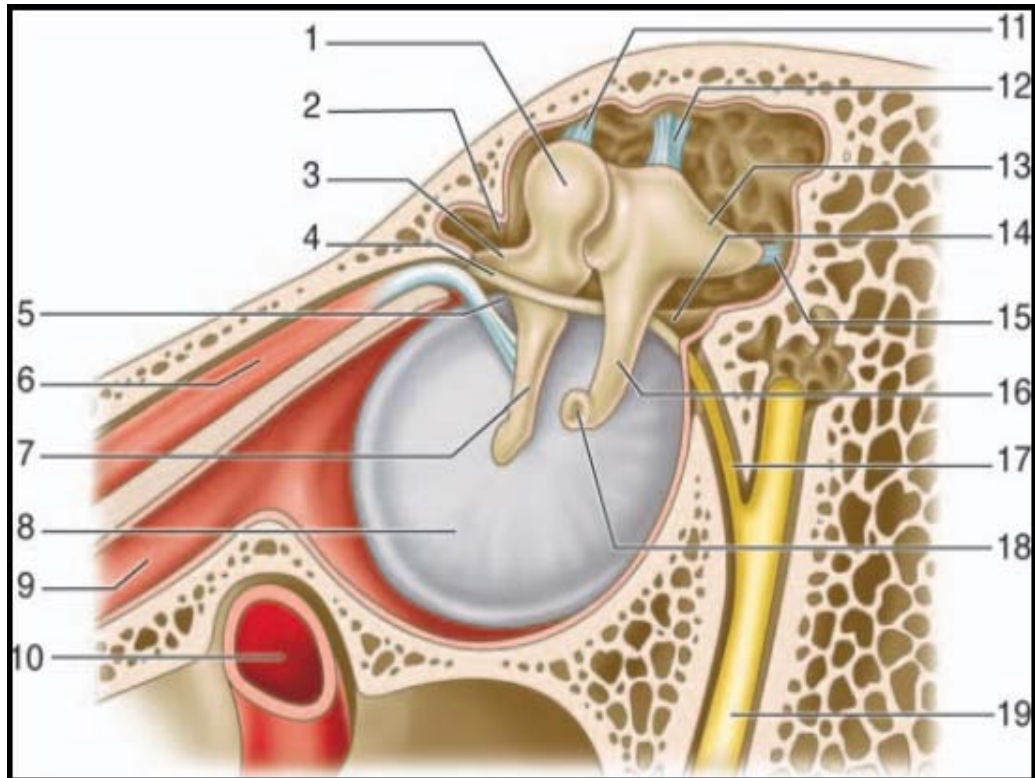


Figure 17. Paroi latérale de la caisse du tympan de l'oreille gauche.

Le marteau et l'enclume sont laissés en place et masquent la partie cupulaire de la partie tympanique de l'os temporal.

1. Tête du marteau ; 2. Recessus épitympanique ; 3. Processus antérieur du marteau ; 4. Corde du tympan ; 5. Pli malléaire antérieur ; 6. Muscle tenseur du tympan ; 7. Branche du marteau ; 8. Membrane tympanique (pars tensa) ; 9. Trompe auditive (trompe d'Eustache) ; 10. Artère carotide interne ; 11. Ligament supérieur du marteau ; 12. Ligament supérieur de l'incus ; 13. Branche courte de l'incus ; 14. Pli malléaire postérieur ; 15. Ligament postérieur de l'incus ; 16. Branche longue de l'incus ; 17. Corde du tympan ; 18. Processus lenticulaire de l'incus ; 19. Nerf facial (VII). [21]

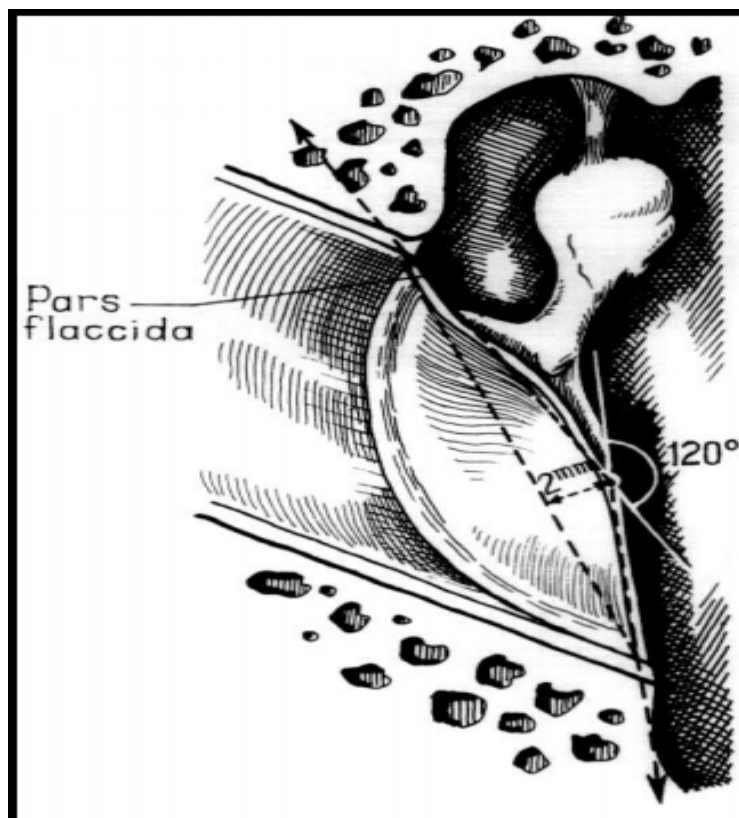


Figure 18. Schéma représentant la forme de la membrane tympanique. [9]

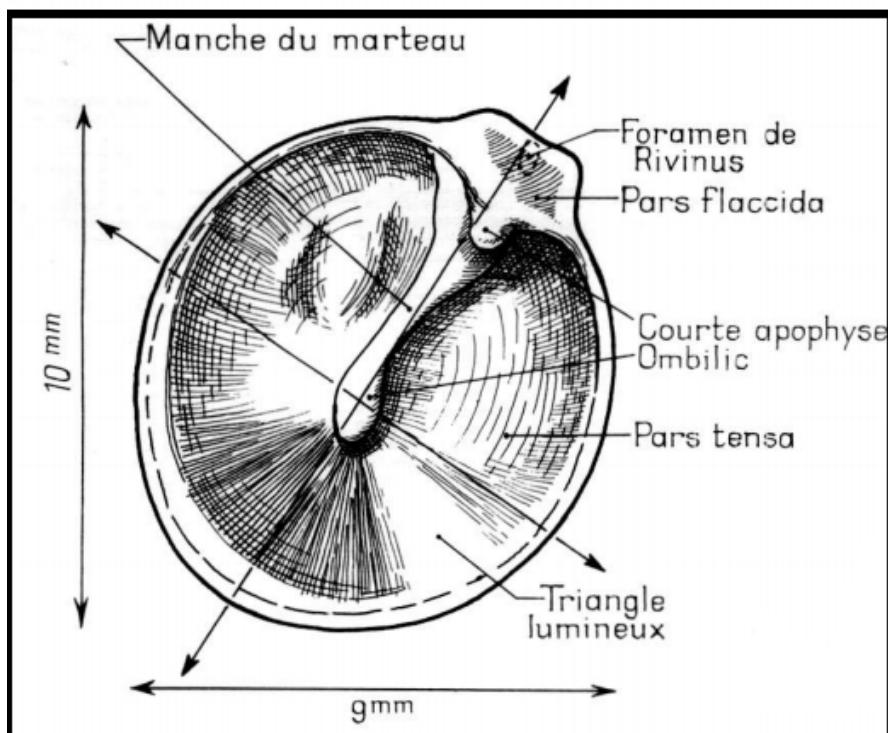


Figure 19. Les dimensions de la membrane tympanique. [9]

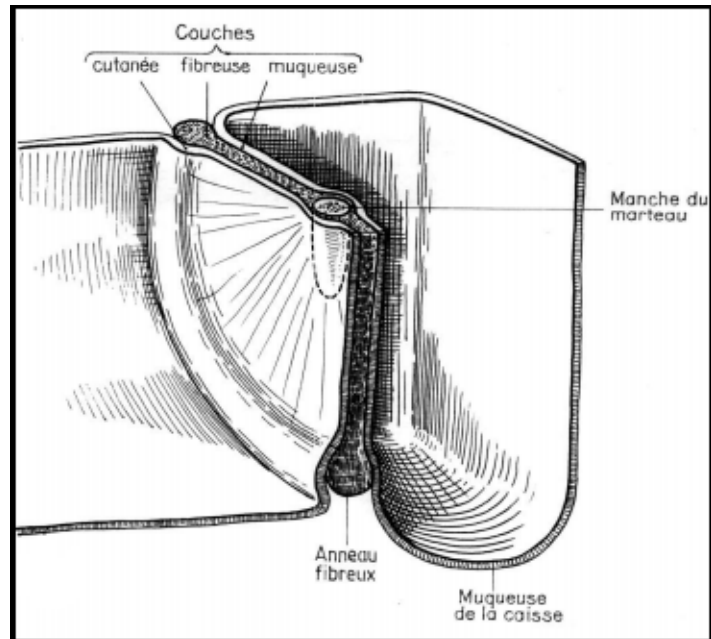


Figure 20. Schéma représentant la structure de la membrane tympanique. [9]

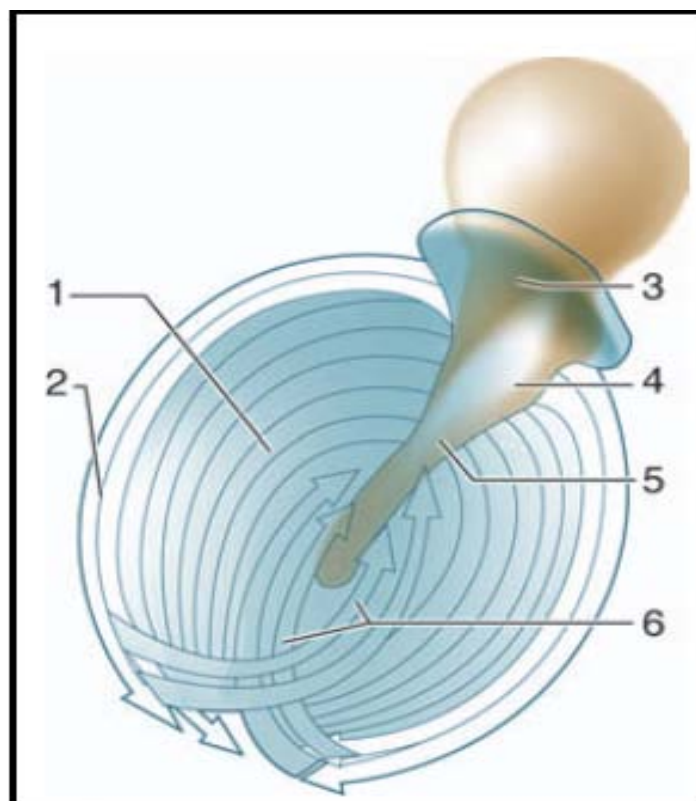


Figure 21. Orientation des fibres de la membrane tympanique. [1]

1. Pars tensa ; 2. Fibres circulaires. 3. Pars flaccida ; 4. Processus latéral de marteau ; 5. Manche du marteau ; 6. Fibres radiées.

a-2 La partie osseuse périmyringienne :

Tout autour de l'orifice constitué par la membrane du tympan, il convient de décrire quatre régions osseuses de taille variable complétant la paroi latérale.

- ❖ **En bas** : la paroi est tympanique et haute de 1 à 2 mm. Elle forme la paroi latérale du récessus hypotympanique, et il existe un décalage entre ce dernier et la paroi inférieure du MAE.
- ❖ **En arrière** : la paroi est tympanosquameuse et elle est parcourue par la fissure tympanosquameuse postérieure. C'est la paroi latérale du rétro-tympanum.
- ❖ **En haut** : la paroi est formée par un segment de la partie squameuse de l'os temporal communément dénommé mur de la logette ou partie cupulaire (pars cupularis) [22]. Cette paroi est haute de 5 mm environ et s'amincit du haut vers le bas où elle vient constituer l'incisure tympanique. En dehors, elle répond à la paroi supérieure du MAE, tandis qu'en dedans elle constitue la paroi latérale de l'épitympanum. Vers le haut, la partie cupulaire s'élargit avant de rejoindre la paroi supérieure de la caisse du tympan. Son épaisseur varie à ce niveau en fonction de sa nature, soit spongieuse, soit creusée de cellules.
- ❖ **En avant** : la paroi est pétrotympanique et large de 2 mm.

b. La paroi médiale : labyrinthique :

Cette paroi est la seule dont la structure ne correspond qu'à une seule partie de l'os temporal : le rocher (figures 22 et 23).

Cette paroi est divisée en deux étages par une saillie horizontale, véritable linteau neuromusculaire qui sépare la caisse du tympan en deux étages : le récessus épitympanique en haut et l'atrium en bas. (Étudiés ultérieurement).

b-1 Le linteau neuromusculaire :

Il est constitué de deux éléments d'avant en arrière.

- ❖ *Le canal du muscle tenseur du tympan* constitue la partie antérieure du linteau. C'est une saillie tubulaire oblique en arrière en dehors et en haut. Son extrémité postérieure est située au-dessous de l'émergence de la deuxième portion du canal facial. Elle se recourbe en dehors pour former le processus cochléariforme qui livre passage au tendon terminal du muscle tenseur du tympan dont la direction est perpendiculaire au canal du muscle.
- ❖ Vers l'arrière, le linteau correspond à *la proéminence du canal facial* au niveau de la deuxième portion du canal facial. Sa longueur moyenne est de 11 mm et il se dirige en arrière, en dehors et en bas en réalisant un angle de 37° par rapport au plan sagittal et un même angle de 37° par rapport au plan horizontal [22]. À son origine, sous le processus cochléariforme, son relief est peu marqué. Puis, il devient progressivement de plus en plus saillant et compose le linteau de la fossette vestibulaire, avant d'aller se fondre dans le massif du facial de Gellé au-dessous du seuil de l'aditus ad antrum [21]. La paroi du canal facial est mince, parfois translucide, voire déhiscente au niveau de sa paroi inférieure, mettant ainsi à nu le nerf facial.

b-2 La partie supérieure de la paroi labyrinthique :

Elle est située dans le récessus épitympanique dont elle constitue la paroi médiale. À sa partie postérieure, et se poursuivant sur la paroi médiale de l'aditus ad antrum, se situe la saillie du canal semi-circulaire latéral. De couleur blanche, lisse et arrondie, elle est un excellent repère chirurgical. Sa direction est oblique en bas, en arrière et en dehors et, fait un angle de 10° ouvert en arrière avec le canal facial dont elle s'écarte progressivement. Au-dessus de cette éminence se trouvent les cellules tympaniques appartenant au groupe labyrinthique supérieur. Vers l'avant, la paroi est plus ou moins développée selon la pneumatisation du rocher [23]. Elle rentre dans la constitution du récessus épitympanique antérieur.

b-3 La partie inférieure de la paroi labyrinthique :

La partie centrale est occupée par le promontoire. C'est une saillie arrondie et lisse, plus accentuée en arrière qu'en avant et qui mesure environ 7 à 8 mm de largeur sur 5 à 6 mm de hauteur [24]. Le promontoire est en rapport en dedans avec le premier tour de spire du limaçon. Le versant antérieur du promontoire est en pente douce. Au-dessous du promontoire, près de la face inférieure, se trouve l'orifice du canal tympanique de Jacobson qui livre passage au nerf tympanique. Celui-ci se dirige vers le haut en cheminant dans une gouttière ou dans un tunnel, et forme le sillon du promontoire. Il passe en avant de la fenêtre cochléaire qui établit un repère chirurgical.

Au-dessus et en arrière du promontoire se trouve la fossette de la fenêtre vestibulaire dont la profondeur est variable selon la saillie du bord postérieur du promontoire et la procidence du canal du nerf facial (qui constitue le linteau de la fenêtre). Au fond de cette dépression se trouve la fenêtre vestibulaire qui est obstruée par la base de l'étrier. Sa forme est elliptique ou réniforme (en « gueule de four »), et mesure 3 mm de long sur 1,5 mm de haut. Elle regarde en dehors, en bas et en avant. Au bord antérieur de la fenêtre ovale est située la fissula ante fenestram.

Au-dessous et en arrière du promontoire se trouve une dépression plus étroite : la fossette de la fenêtre cochléaire, au fond de laquelle est située la fenêtre cochléaire. Cette fenêtre, en grande partie dissimulée par la saillie du promontoire qui constitue la crête de la fenêtre cochléaire, regarde vers le bas, en arrière et un peu en dehors. Elle fait communiquer la caisse du tympan avec la cavité sous-vestibulaire où commence le conduit cochléaire [25], et est fermée par une mince membrane appelée membrane secondaire du tympan. L'orifice mesure 2 à 3 mm de diamètre. C'est au travers de cet orifice que sont placés les implants cochléaires en technique classique.

c. La paroi supérieure : tegmentale :

Elle compose le toit de la caisse du tympan et est de constitution pétrosquameuse. Le tegmen tympani représente la partie pétreuse du toit et est complété par une expansion de la

partie horizontale de l'écaïlle. La jonction de ces deux os constitue la fissure pétrosquameuse interne et répond à la crête pétrosquameuse supérieure qui parcourt la paroi d'avant en arrière. Sur cette crête se fixent les ligaments suspenseurs du marteau et de l'enclume. Cette paroi est oblique en avant et en bas et la caisse est ainsi plus étroite en avant. Si la paroi est relativement épaisse dans son tiers antérieur, dans ses deux tiers postérieurs elle est mince, et même parfois déhiscente et responsable de méningocèle.

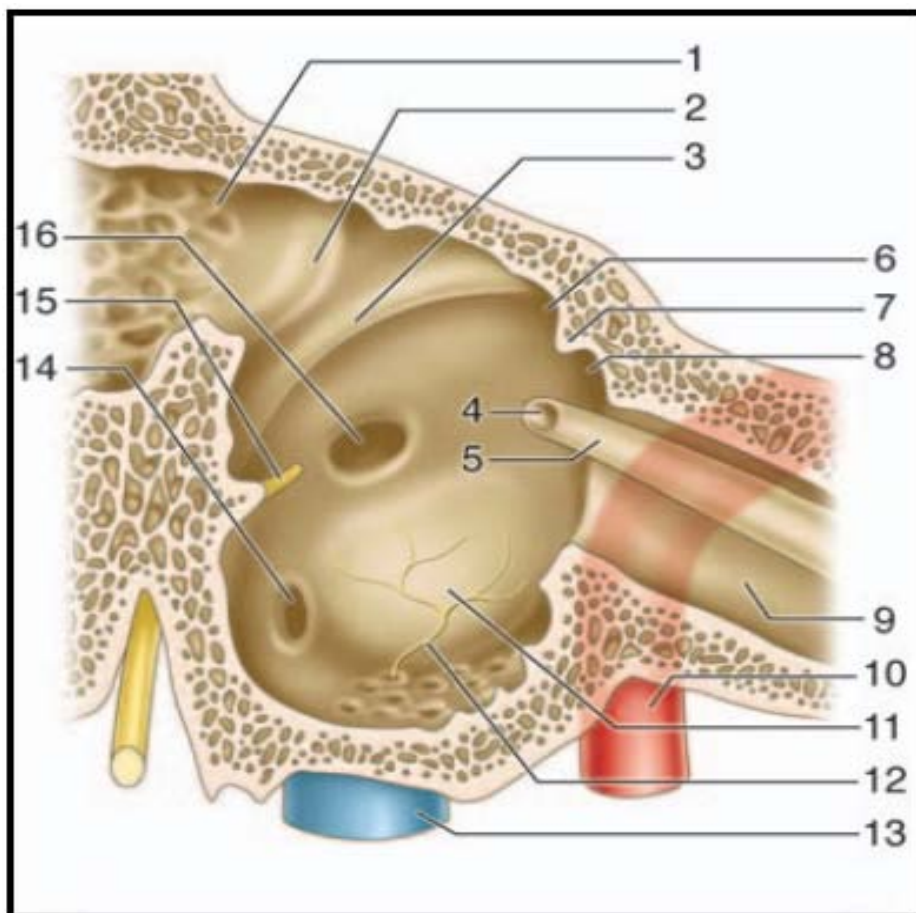


Figure 22. La paroi médiale de la caisse du tympan [1].

1. Aditus ad antrum ; 2. Saillie du canal semi-circulaire latéral ; 3. Canal facial(deuxième portion) ; 4. Processus cochléariforme ; 5. Canal du muscle tenseur du tympan ; 6. Récessus épitympanique ; 7. Crête osseuse ; 8. Récessus épitympanique antérieur (fossette sus-tubaire) ; 9. Portion osseuse du tube auditif ; 10. Canal carotidien ; 11. Promontoire ; 12. Nerve tympanique ; 13. Golfe de la veine jugulaire ; 14. Fenêtre cochléaire ; 15. Éminence cordale ; 16. Fenêtre vestibulaire.

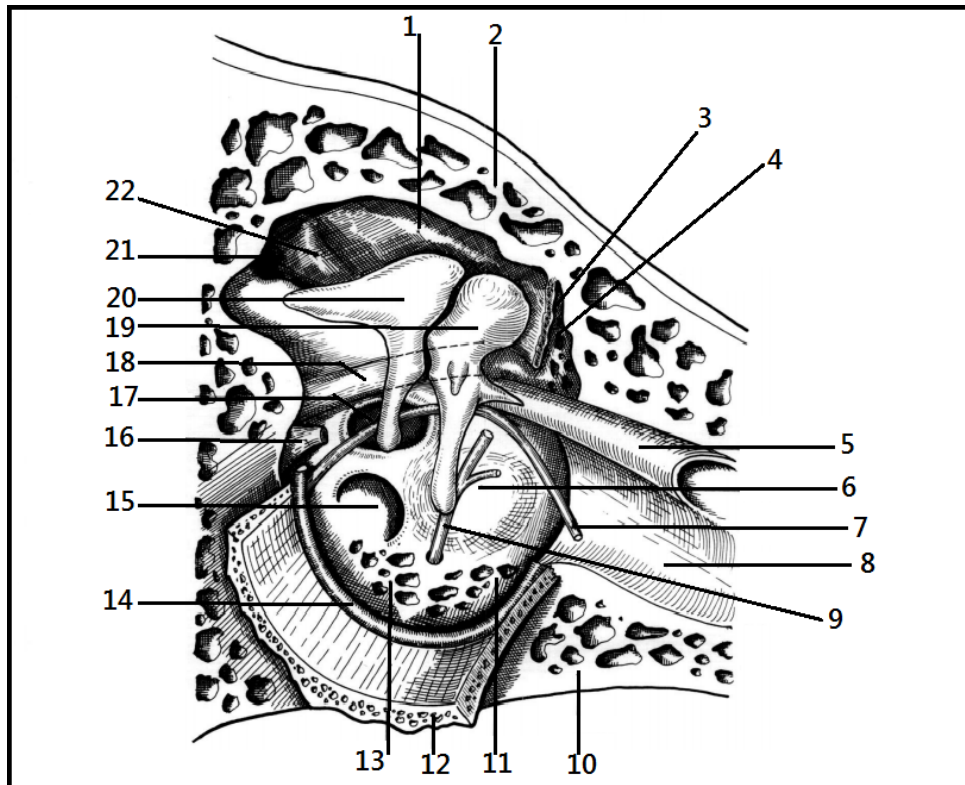


Figure 23. Vue externe de la paroi interne de la caisse après ablation de l'écaïlle du temporal et de la membrane tympanique.

1. Attique ; 2. Tegmen tympani ; 3. Fossette sus-tubaïre ; 4. Cellules sus-labyrinthique antérieur ; 5. Canal du muscle tenseur du tympan ; 6. Promontoire ; 7. Corde du tympan ; 8. Gouttière tubaïre ; 9. Nerf tympanique ; 10. Rocher ; 11. Cellules antélimacéennes ; 12. Tympanal ; 13. Cellules sous-labyrinthique antérieur ; 14. Anneau fibreux ; 15. Fenêtre cochléaire ; 16. Pyramide ; 17. Fenêtre vestibulaire ; 18. 2^{ème} portion du canal facial ; 19. Marteau ; 20. Enclume ; 21. Aditus ; 22. Canal semi-circulaire latéral.

d. La paroi inférieure jugulaire :

Cette paroi, de structure tympanopétreuse, constitue le plancher de la caisse et est située au-dessous du niveau de la paroi inférieure du MAE. Le décalage établi, surtout net à la partie antérieure, crée le récessus hypotympanique ou hypotympanum.

L'orifice du canal tympanique est situé sur la paroi, à l'aplomb du rebord antérieur de la fenestra cochléaire, et livre passage au nerf tympanique et à l'artère tympanique inférieure. Cette paroi répond à la veine jugulaire, dont elle forme le plafond. Le golfe de la veine jugulaire détermine le plus souvent un dôme. L'épaisseur de la paroi est variable. Parfois épaisse et

pneumatisée, elle peut être déhiscente avec saillie du golfe dans la caisse. À la partie postérieure de la paroi, on observe la proéminence styloïde qui donne naissance à une saillie émoussée répondant à la base de l'apophyse styloïde, solidement implantée dans la mastoïde. Du fait de sa situation à cheval entre les parois inférieure et postérieure de la caisse, certains auteurs la situent au niveau du rétrotympanium, et donc elle constitue un des repères de la chirurgie endoscopique du rétrotympanium.

e. La paroi antérieure carotidienne :

Selon Andrea, cette paroi est systématisée en trois étages [26] (figure 24).

e-1 L'étage supérieur :

Il correspond à la paroi antérieure du récessus épitympanique. Sa hauteur dépend de l'obliquité du tegmen tympani et son étude est revue au paragraphe de la systématisation de la caisse du tympan.

e-2 L'étage moyen :

Il est situé sur le même plan que le fond du MAE et la membrane tympanique. Il est occupé principalement par l'ostium tympanique de la trompe auditive qui donne accès à la partie osseuse de la trompe auditive. À la partie supéro-interne de cet orifice se trouve le canal du muscle tenseur du tympan. À sa partie supéro-externe, débouchent l'orifice d'entrée du ligament antérieur du marteau et de l'artère tympanique antérieure, ainsi que l'orifice de sortie de la corde du tympan.

e-3 Le segment inférieur :

Il est haut de 3 à 4 mm, entretient des rapports étroits sur son versant interne avec le canal carotidien dont il est séparé par une lame osseuse perforée de pertuis à destinée vasculo-nerveuse. Cette paroi est souvent bombée, elle peut être fine, voire déhiscente.

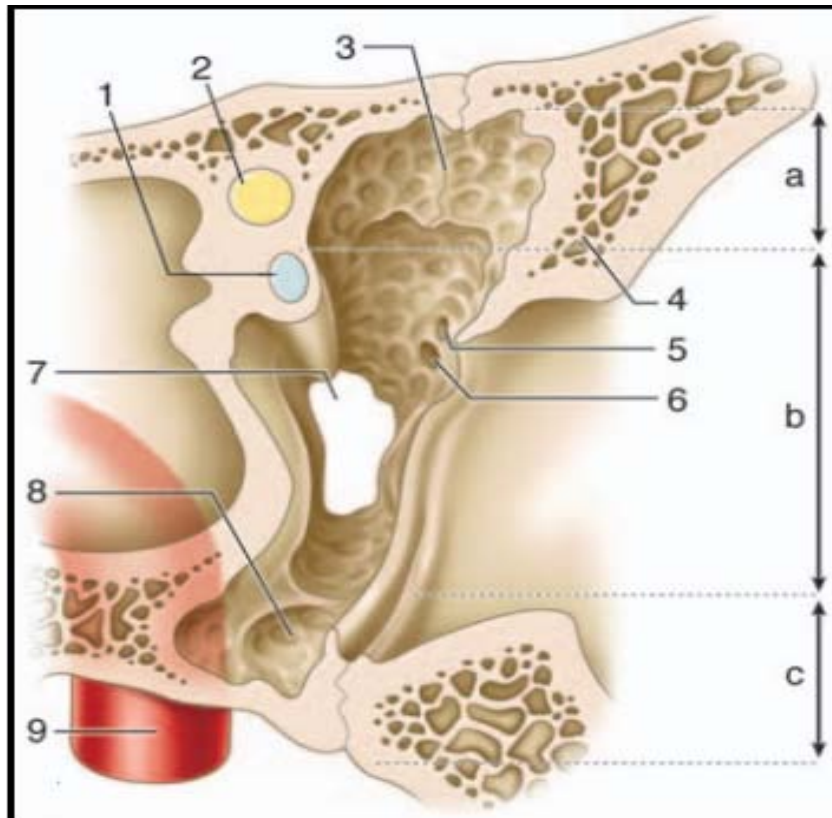


Figure 24. Paroi carotidienne de la caisse du tympan. [1]

a. Étage supérieur de la paroi antérieure ; b. Étage moyen de la paroi antérieure ; c. Étage inférieur de la paroi antérieure. 1. Processus cochléariforme et canal du muscle tenseur du tympan ; 2. Canal facial ; 3. Crête osseuse tombant du tegmen, avec en avant le récessus épitympanique antérieur ou fossette sus-tubaire ; 4. Partie cupulaire de la partie tympanique ; 5. Foramen de passage du ligament antérieur du marteau et de l'artère tympanique antérieure ; 6. Foramen de sortie de la corde du tympan (canal de Huguier) ; 7. Ostium tympanique de la trompe auditive ; 8. Hypotympanum ; 9. Canal carotidien.

f. La paroi postérieure ou mastoïdienne :

Cette paroi est la plus haute (14 mm) et elle est essentiellement de constitution pétreuse (figure 25). On lui distingue deux parties :

- une partie supérieure, occupée par l'**aditus ad antrum** ;
- une partie inférieure qui constitue la région du **rétympanum**.

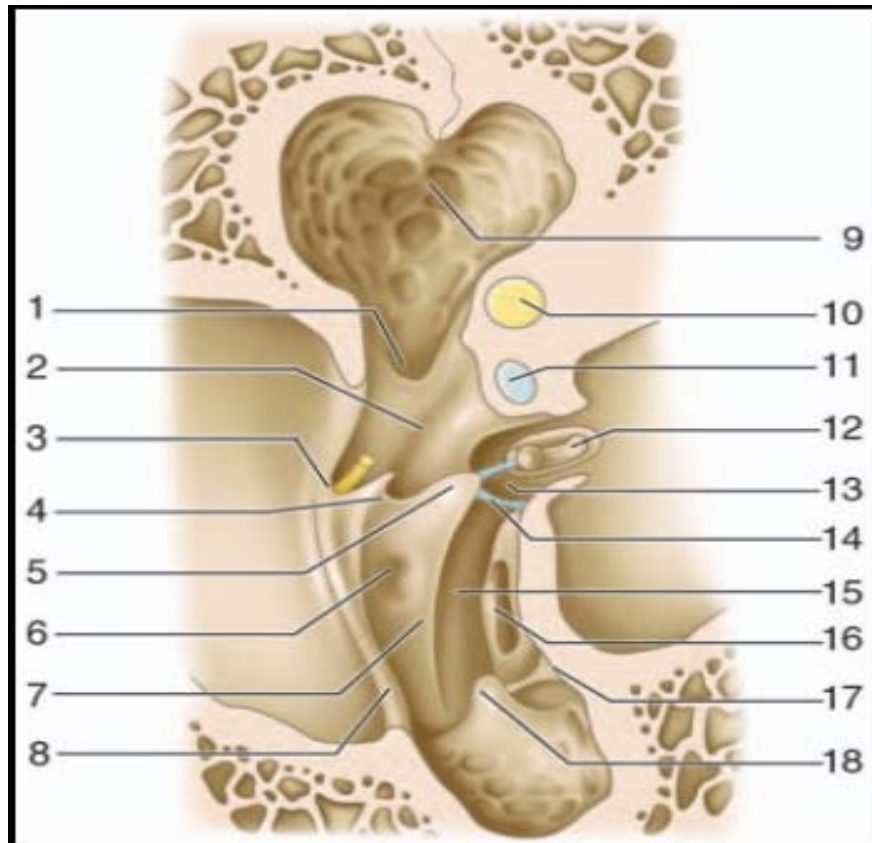


Figure 25. Paroi mastoïdienne ou postérieure de la caisse du tympan. [1]

1. Fosse de l'enclume ; 2. Recessus facial ; 3. Éminence cordale ; 4. Crête cordale ; 5. Éminence pyramidale ; 6. Fossette prépyramidale de Grivot ; 7. Crête pyramidale ; 8. Sillon tympanique ; 9. Aditus ad antrum ; 10. Canal semi-circulaire latéral ; 11. Canal facial ; 12. Étrier dans la fossette de la fenêtre vestibulaire ; 13. Sinus tympani posterior de Proctor ; 14. Ponticulus ; 15. Sinus tympani ; 16. Fenêtre cochléaire ; 17. subiculum du promontoire ; 18. Proéminence styloïde.

f-1 L'aditus ad antrum :

C'est l'orifice de passage entre le recessus épitympanique et l'antre mastoïdien. Il a une forme triangulaire à sommet inférieur et mesure 4 mm de haut. Sa paroi médiale est marquée par la saillie lisse et arrondie du canal semi-circulaire latéral.

L'angle inférieur ou plancher de l'aditus représente la fossette de l'enclume, au niveau de laquelle vient s'appuyer l'extrémité de la branche courte de l'enclume. Cette région est en rapport avec le coude du facial dont elle n'est séparée que par une mince lame osseuse de 1 à 3 mm.

f-2 Le rétrotympanium :

De toutes les parois de la caisse, c'est la plus accidentée. Sa compréhension est facilitée par la systématisation que l'on doit à Guerrier et Andrea [22,27] qui ont défini quatre régions à partir de plusieurs repères anatomiques rencontrés sur cette paroi (figure 26).

❖ *les repères anatomiques :*

- L'éminence pyramidale est une saillie conique, rarement pyramidale, située en plein centre de la région. Son volume est variable et elle est haute de 2 mm. Sa base est le plus souvent en continuité avec le relief du canal facial. Le sommet de l'éminence pyramidale livre passage au tendon du muscle de l'étrier, toujours aisément identifiable ;
- L'éminence cordale est située immédiatement en dedans du sillon tympanique (environ 1 mm) sur le même plan que l'éminence pyramidale. À son sommet, se trouve l'ouverture tympanique du canalicule de la corde du tympan ;
- La proéminence styloïde

❖ *Les reliefs osseux :* L'éminence pyramidale, véritable clef de voûte de la région et bon repère chirurgical, est le point de convergence de cinq reliefs osseux formant une croix et qui permettent de baliser le rétrotympanium en quatre régions distinctes.

- + En dehors et transversalement se trouve la crête cordale de Proctor qui s'étend de la base de l'éminence pyramidale à l'éminence cordale. La crête cordale se présente le plus souvent comme une véritable crête osseuse, mais peut parfois prendre d'autres aspects : une ligne peu marquée, une pointe osseuse complétée par une partie fibreuse, voire deux pointes osseuses réunies par un pont fibreux.
- + En bas et longitudinalement : la crête pyramidale. Elle est plus ou moins saillante et s'étend vers le bas de la base de l'éminence pyramidale vers la

proéminence styloïde. Elle peut être très courte, voire inexistante lorsque la proéminence styloïde est très marquée.

- + En dedans, transversalement et en avant : le ponticulus. Il réunit la base de l'éminence pyramidale au bord postéro-supérieur du promontoire. Tout comme la crête cordale, il s'agit le plus souvent d'un véritable pont osseux. Parfois il se présente sous la forme d'une pointe osseuse du côté promontoire ou de l'éminence pyramidale complétée par une bride fibreuse.
- + En dedans, transversalement et en arrière : la crête tympanique postérieure d'Andrea. Elle naît du bord postérieur du sinus tympani qu'elle semble continuer vers le haut. Dans 25 % des cas celle-ci est fusionnée au ponticulus.
- + En haut et oblique en dehors : la saillie du canal facial.

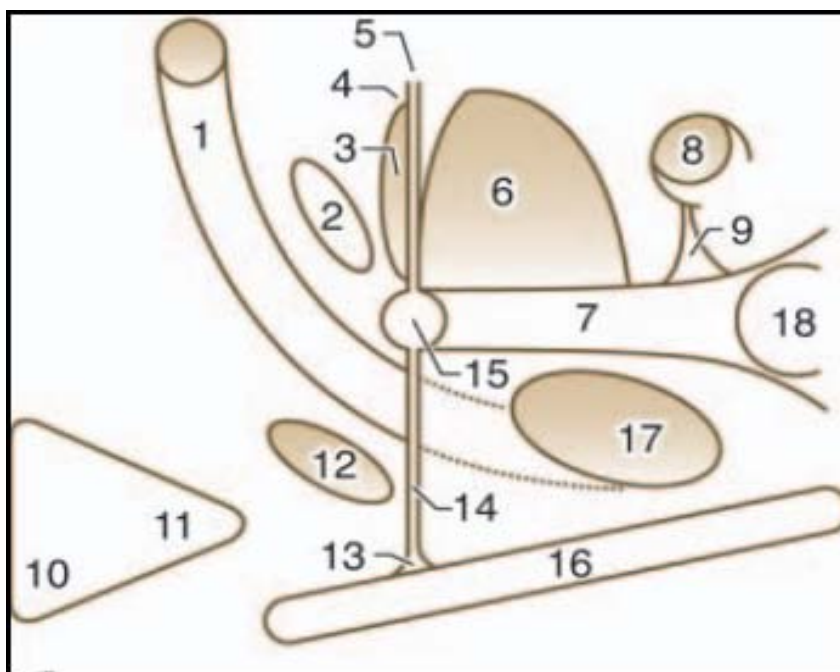


Figure 26. Systématisation du rétrotympaanum. [1]

1. Canal facial ; 2. Fenêtre vestibulaire ; 3. Sinus tympani posterior de Proctor ; 4. Crête tympanique postérieure d'Andrea ; 5. Ponticulus ; 6. Sinus tympani ; 7. Crête pyramidale ; 8. Fenêtre cochléaire ; 9. Subiculum du promontoire ; 10. Aditus ad antrum ; 11. Fosse de l'enclume ; 12. Recessus facial ; 13. Eminence cordale ; 14. Crête cordale ; 15. Eminence pyramidale ; 16. Sillon tympanique ; 17. Fossette prépyramidale de Grivot ; 18. Proéminence styloïde.

2.2- Le contenu de la caisse :

La caisse du tympan est occupée par les trois osselets, ainsi que leurs annexes : articulations, ligaments, muscles et replis muqueux.

a- Les osselets de l'ouïe :

Les trois osselets de la caisse du tympan forment la chaîne ossiculaire disposée entre la membrane tympanique et la fenêtre vestibulaire. De dehors en dedans, on trouve le marteau, l'enclume et l'étrier.

a-1 Le marteau :

Cet osselet (figure 27) est le plus externe et le plus antérieur. Il est aussi le plus long (7 à 9 mm) (figure 28) et pèse 25 mg en moyenne. Il a une forme de massue et on lui décrit une tête, un col, un manche et deux processus.

❖ **La tête :**

Elle constitue l'extrémité supérieure de l'os et est située au-dessus de la membrane tympanique, dans le récessus épitympanique. De forme ovoïde, elle est volumineuse par rapport au reste de l'osselet, lisse sauf à sa partie postéro-interne où elle présente une surface articulaire destinée au corps de l'enclume. Cette surface articulaire de forme elliptique à grand axe dirigé vers le bas et médialement est limitée par un bourrelet osseux, et est divisée par une crête verticale en deux facettes plus petites interne et postérieure.

❖ **Le col :**

Il soutient la tête, est très court et aplati d'avant en arrière. Son bord latéral répond à la pars flaccida et au récessus supérieur de la membrane du tympan. Son bord médial est croisé à angle droit par la corde du tympan qui chevauche le tendon du muscle tenseur du tympan inséré sur ce même bord.

❖ **Le manche :**

Il fait suite au col et descend obliquement en bas et en arrière. Tout comme le col, le manche est aplati d'avant en arrière et présente deux faces antérieure et postérieure et deux

bords latéral et médial. Son extrémité distale en forme de spatule répond à l'ombilic, zone où le manche est très adhérent à la membrane du tympan. L'axe du manche du marteau n'est pas situé dans le prolongement de l'axe de la tête et du col et forme un angle de 135° ouvert en haut, en arrière et en dedans.

❖ **Le processus latéral :**

Il se présente sous la forme d'une éminence conique de 1 mm, naissant de la partie inférieure et latérale du col. C'est une saillie très bien identifiable sur le tympan (proéminence malléaire), qui donne insertion aux deux ligaments tympanomalléaires limitant vers le bas la pars flaccida.

❖ **Le processus antérieur :**

Il se détache de la partie antérieure et moyenne du col. C'est une épine osseuse grêle qui se poursuit par le ligament antérieur du marteau qui s'insinue dans la fissure pétro-tympano-squameuse.

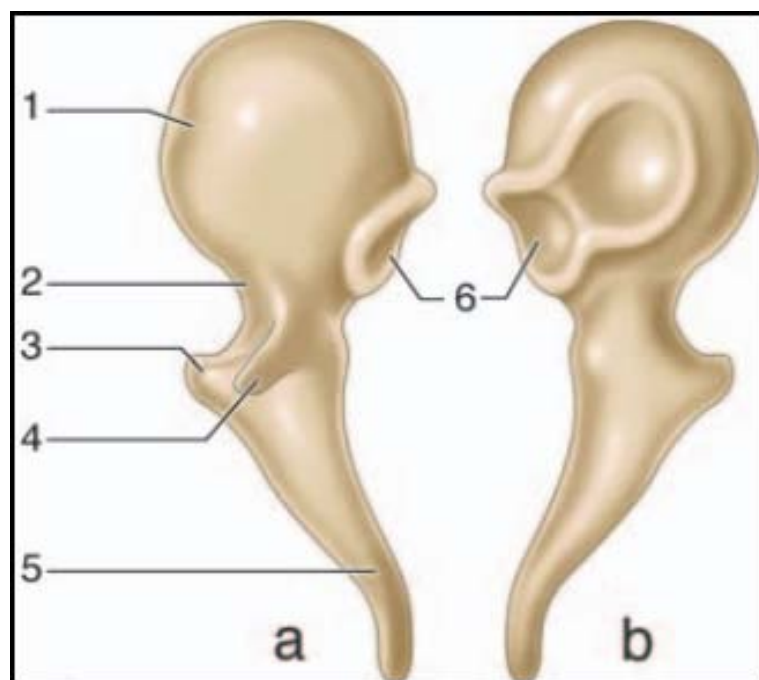


Figure 27. Malleus (marteau).

a. Vue antérieure ; b. vue postérieure. 1. Tête ; 2. Col ; 3. Processus latéral ; 4. Processus antérieur ; 5. Manche ; 6. Surface articulaire (articulation incudomalléaire). [21]

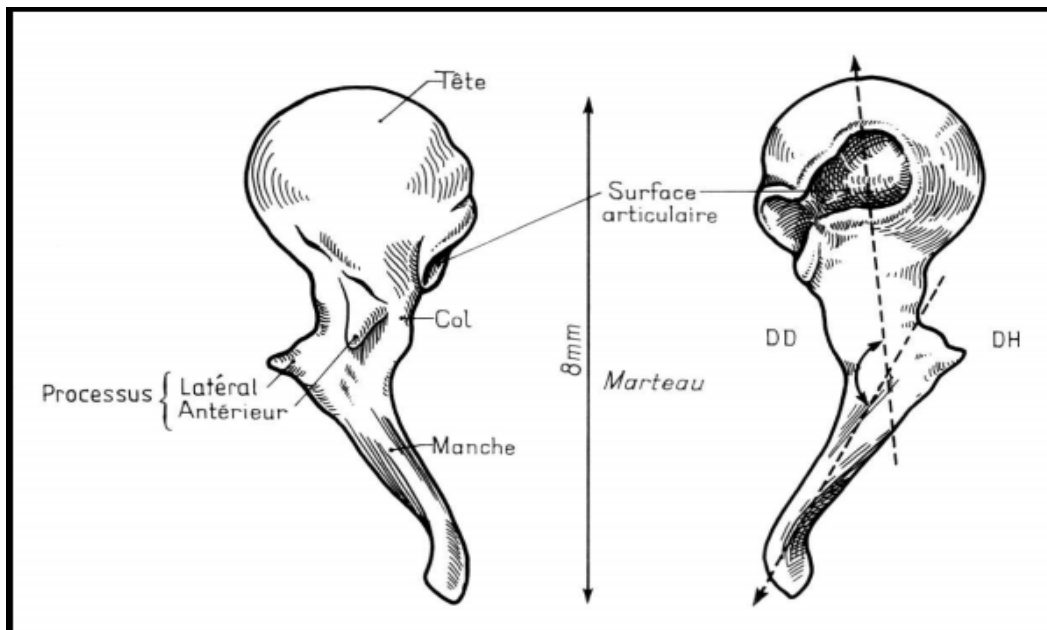


Figure 28. Le marteau : dimensions et orientation. [9]

a-2 L'enclume :

Cet osselet (figures 29, 30) est situé en dedans et en arrière du marteau. Son poids est légèrement supérieur à celui du marteau. On le compare à une molaire ou dent bicuspidée et on lui décrit un corps (couronne) et deux branches (racines). **Le corps** a une forme cuboïde aplatie transversalement. Sa face antérieure, elliptique en forme de selle de cheval, est articulaire, et répond à celle de la tête du marteau. **La branche courte** est une apophyse conique qui prolonge le corps vers l'arrière. Son grand axe est horizontal et son extrémité postérieure vient se loger dans la fosse de l'enclume. **La branche longue** est plus longue et plus grêle que la précédente. Sa direction est similaire à celle du manche du marteau. Son extrémité inférieure se coude en angle droit et se termine par un renflement arrondi, le processus lenticulaire, qui vient s'articuler avec l'étrier.

a-3 L'étrier :

C'est l'osselet le plus petit et le plus léger (2 mg) (figures 31, 32). Il est situé dans la fossette de la fenêtre vestibulaire, sous le canal facial, entre l'apophyse lenticulaire de l'enclume et la fenêtre vestibulaire. Sa forme rappelle un étrier de cavalier et il présente une tête, deux branches et une base.

❖ **La tête :**

Elle est de forme quadrilatère (2 mm), et creusée sur sa face latérale d'une cavité glénoïde qui répond à la surface articulaire de l'apophyse lenticulaire. Sa face médiale est en continuité avec les deux branches et présente à ce niveau un étranglement circulaire ou col.

❖ **Les branches antérieure et postérieure :**

Elles forment l'arc stapédien, réunissant la tête à la base de l'étrier, et délimitent un espace semi-circulaire parfois comblé par un repli de la muqueuse tympanique, la membrane obturatrice de l'étrier [6]. La face concave des branches est évidée en gouttière. La branche postérieure est la plus longue et la plus épaisse. La branche antérieure est moins incurvée et parfois rectiligne.

❖ **La base :**

Elle est une mince lame osseuse de forme ovale ou réniforme qui épouse parfaitement la fenêtre du vestibule. Sa surface n'est pas plane mais tordue autour de son axe polaire. On la compare à une hélice à deux pales [21], dont la moitié antérieure regarde vers le plancher du vestibule et la moitié postérieure vers la voûte.

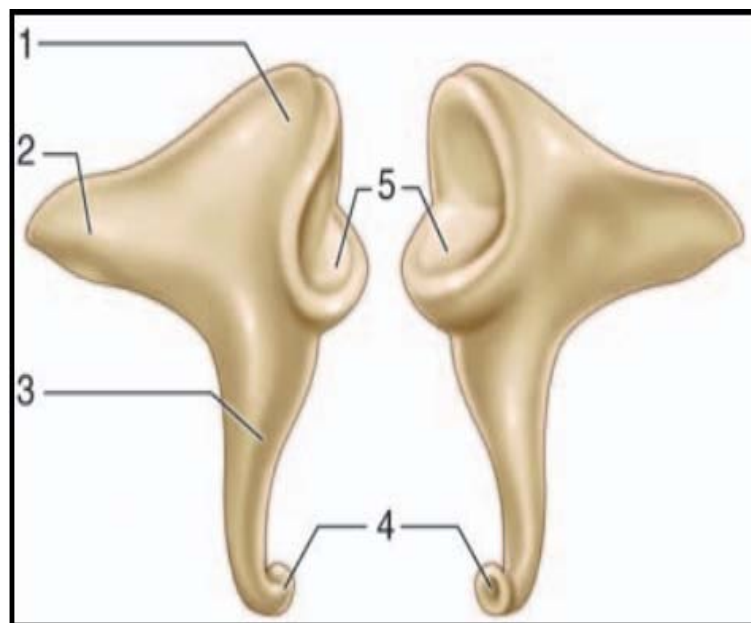


Figure 29. Incus (enclume).

a. Vue latérale ; b. vue médiale. 1. Corps ; 2. Branche courte ; 3. Branche longue ; 4. Processus lenticulaire ; 5. Surface articulaire (articulation incudomalléaire). [21]

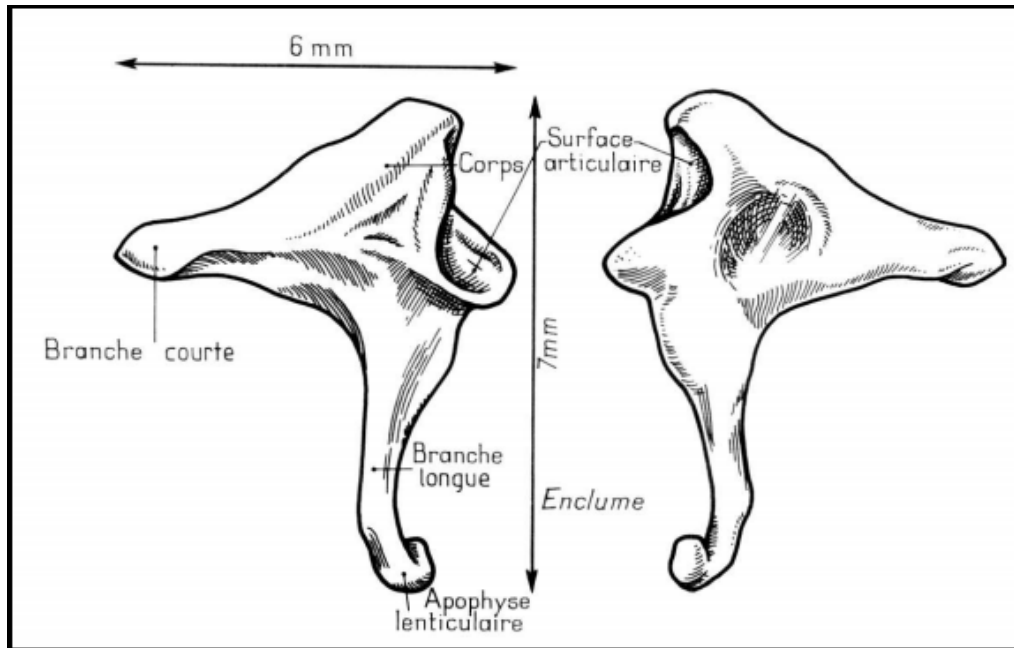


Figure 30. Schéma représentant les dimensions de l'enclume. [9]

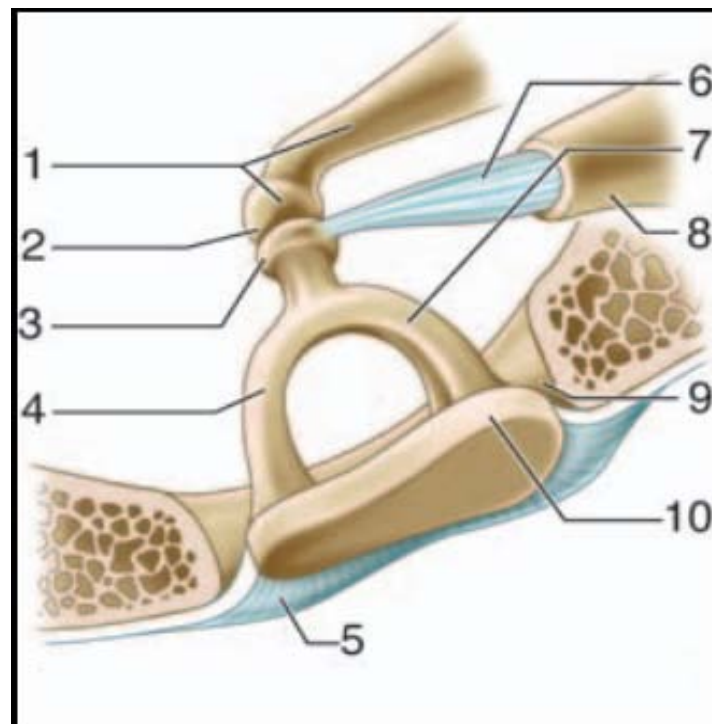


Figure 31. Étrier dans la fossette de la fenêtre vestibulaire. [1]

1. Branche longue et processus lenticulaire de l'enclume ; 2. Articulation incudo-stapédienne ; 3. Tête ; 4. Branche antérieure ; 5. Ligament annulaire ; 6. Tendon du muscle stapédien ; 7. Branche postérieure ; 8. Éminence pyramidale ; 9. Fossette de la fenêtre vestibulaire ; 10. Base.



Figure 32. Vue endoscopique de l'étrier optique 0° d'angle oreille gauche. [1]

b- Les articulations inter-ossiculaires :

On en distingue trois (figure 33).

b-1 L'articulation incudo-malléaire :

C'est une articulation par emboîtement réciproque (diarthrose) qui unit le versant postérieur de la tête du marteau à la face antérieure du corps de l'enclume. Il existe un ménisque interarticulaire. Après la puberté, l'articulation est le siège d'une ossification qui va entraîner la constitution d'un véritable bloc incudo malléaire dépourvu de toute mobilité. Un ligament capsulaire inséré à leur pourtour les maintient en contact.

b-2 L'Articulation incudo-stapédienne :

C'est une énarthrose qui réunit le processus lenticulaire de l'enclume à la cavité glénoïde de la tête de l'étrier. Contrairement à la précédente, cette articulation reste mobile chez l'adulte, et on doit noter sa fragilité avec une possibilité de luxation au cours des traumatismes crâniens. Un manchon fibreux en forme de capsule réunit les deux os.

b-3 La syndesmose tympano-stapédienne :

Les surfaces osseuses en contact sont ici réunies entre elles par un ligament : le ligament annulaire de l'étrier. Les dimensions de ce dernier sont différentes en avant (largeur 100 µm, épaisseur 300 µm) et en arrière (largeur 15 µm, épaisseur 500 µm), ce qui explique en partie la plus grande mobilité de la partie antérieure de la base de l'étrier [22].

c- Les ligaments ossiculaires :

Ces ligaments réunissent les deux plus lourds osselets de la chaîne aux parois de la caisse du tympan (figure 33).

c-1 Les ligaments du marteau :

- Le ligament supérieur ou suspenseur du marteau .Épais et cylindrique, il réunit la tête du marteau à la paroi supérieure de la caisse au niveau de la crête pétrosquameuse supérieure.
- Le ligament antérieur du marteau .Il représente un reliquat fibreux du cartilage de Meckel qui relie la mandibule au marteau. Il est tendu du processus antérieur du marteau à la partie latérale de la fissure pétro-tympano-squameuse.
- Le ligament latéral du marteau. Il est étalé en éventail entre le col du marteau et le bord inférieur de l'incisure tympanique. Il forme la limite supérieure du récessus supérieur de la membrane du tympan.

c-2 Les ligaments de l'enclume :

- Le ligament supérieur de l'enclume, inconstant et fin, il est tendu entre le corps de l'enclume et la paroi supérieure de la caisse au niveau de la crête pétrosquameuse supérieure.
- Le ligament postérieur de l'enclume. Bifide, il réunit l'extrémité de la branche courte de l'enclume au pourtour de la fossa incudis.

d- Les muscles ossiculaires (figure 33) :

d-1 Le muscle tenseur du tympan : le muscle du marteau :

Ce muscle long de 2 cm chemine dans un canal osseux situé sur la portion supéro-interne de la trompe auditive osseuse dont il est séparé par un septum. Le tendon du muscle tenseur du tympan quitte le canal au niveau du processus cochléariforme, et se dirige selon une direction à angle droit par rapport au canal en direction du marteau sur lequel il s'insère au niveau du bord médial du col. En se contractant, il attire le manche du marteau vers l'intérieur de la caisse, rapproche son extrémité inférieure du promontoire et tend la membrane du tympan [28].

d-2 Le muscle stapédien : le muscle de l'étrier :

Ce muscle long de 7 ou 8 mm est le plus petit muscle de l'organisme. Le canal de ce muscle présente deux segments. Un premier segment creusé dans la paroi postérieure de la caisse du tympan en avant de la troisième portion du canal facial dont il n'est séparé que par une fine lame osseuse. Un deuxième segment contenu dans l'éminence pyramidale, coudé à angle droit par rapport au premier, et dont est issu le tendon du muscle stapédien. Ce dernier, long de 2 mm, va s'insérer le plus souvent sur le col de l'étrier, parfois sur la branche postérieure ou sur l'articulation incudo-stapédienne. En se contractant, ce muscle fait basculer l'étrier en arrière.

e- Le repli muqueux :

Les parois de la caisse et son contenu sont tapissés par la muqueuse tympanique en continuité, en avant avec la muqueuse de la trompe auditive et en arrière avec la muqueuse des annexes mastoïdiennes. Cette muqueuse de type respiratoire est peu épaisse, de couleur gris rosé et adhère intimement au périoste.

Tout comme le péritoine réalise le péritoine autour des viscères abdominaux, la muqueuse tympanique se détache à certains endroits de la caisse pour aller engainer les osselets de l'ouïe, leurs tendons et leurs ligaments en formant des replis muqueux, véritables mésos dans lesquels passent des vaisseaux. Ces mésos ou plis sont responsables de la formation de nombreux compartiments au niveau de la caisse du tympan.

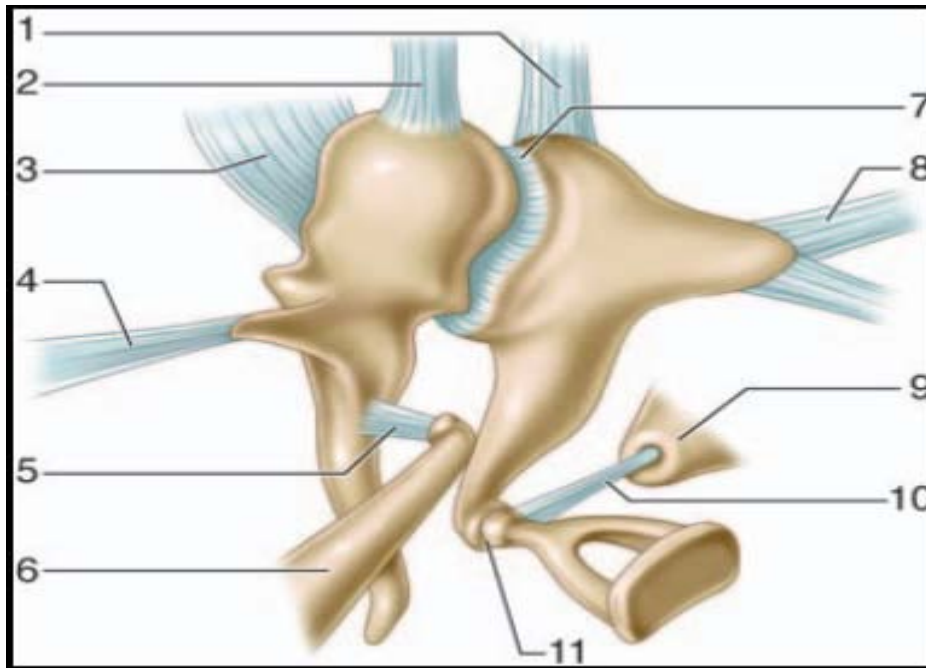


Figure 33. Articulations des osselets, muscles et ligaments.

1. Ligament supérieur de l'enclume ; 2. Ligament supérieur du marteau ; 3. Ligament latéral du marteau ; 4. Ligament antérieur du marteau ; 5. Tendon du muscle tenseur du tympan ; 6. Muscle tenseur du tympan à l'intérieur de son canal ; 7. Articulation incudomalléaire ; 8. Ligament postérieur de l'enclume ; 9. Éminence pyramidale ; 10. Tendon du muscle de l'étrier ; 11. Articulation incudostapédienne. [21]

2.3- La systématisation de la caisse du tympan :

La caisse du tympan est classiquement divisée en deux étages : un étage supérieur ou **récessus épitympanique** et un étage inférieur habituellement dénommé **atrium** (figures 34 et 35). Le niveau de démarcation entre ces deux étages est nettement individualisable du fait des reliefs anatomiques sur les parois de la caisse et des différents éléments occupant cette dernière. Au niveau de la caisse, il existe un étranglement représenté latéralement par le linteau neuromusculaire (deuxième portion du canal facial et portion tympanique du canal du muscle tenseur du tympan) et médialement par le bord inférieur de la partie cupulaire. La largeur de la caisse atteint à ce niveau 2 mm, alors qu'elle est de 6 mm dans le récessus épitympanique et de 4 mm dans l'atrium [29,30]. La présence des osselets de l'ouïe, de leurs annexes et des replis muqueux complète cette séparation.

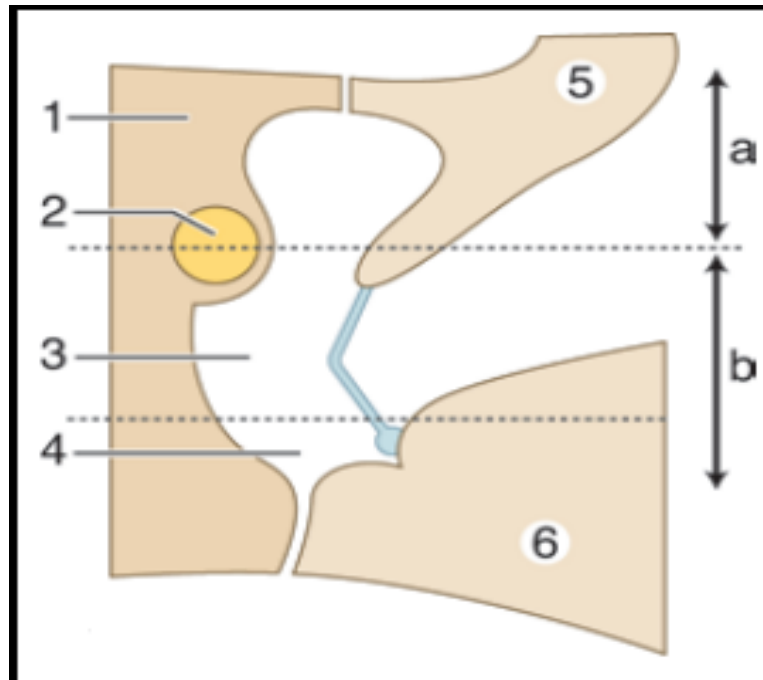


Figure 34. Coupe verticale schématique passant par la caisse du tympan. [1]

a. Récessus épitympanique. b. Atrium. 1. Partie pétreuse de l'os temporal ; 2. Canal facial ; 3. Mésotympanum ; 4. Hypotympanum ; 5. Partie squameuse de l'os temporal ; 6. Partie tympanique de l'os temporal.

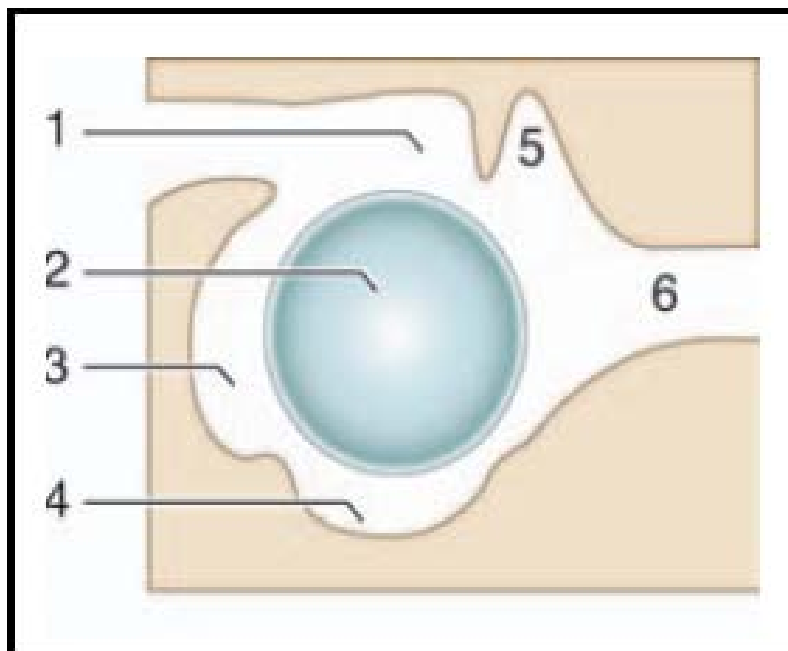


Figure 35. Systématisation de la caisse du tympan. [1]

1. Récessus épitympanique ; 2. mésotympanum ; 3. Rétrotympanum ; 4. hypotympanum ; 5. Récessus épitympanique antérieur (fossette sus-tubaire). 6. Protympanum.

a- L'atrium :

C'est le plus vaste des deux étages de la caisse du tympan. À la partie postéro-supérieure de cette cavité relativement libre, on trouve la branche longue de l'enclume et l'étrier. L'atrium peut être subdivisé en différents espaces (figure 35). Au centre, en regard de la membrane tympanique, se situe le mésotympanum. Tout autour de lui sont disposées les autres régions. En arrière se trouve le rétrotympaum, segment inférieur de la paroi postérieure de la caisse. Vers le bas se situe l'hypotympaum et en avant le protympanum.

Un élément nerveux passe en pont au travers de l'atrium : la corde du tympan. Elle naît de la troisième portion du nerf facial et pénètre dans la caisse au travers de l'ouverture tympanique du canalicule de la corde du tympan situé sur l'éminence cordale. Elle décrit une courbe à concavité inférieure lors de son trajet dans la caisse et passe au contact du bord médial du col du marteau. La corde est revêtue d'une muqueuse qu'elle soulève en réalisant le pli de la corde du tympan. La corde quitte la caisse par la fissure pétro-tympano-squameuse.

La corde participe également à la constitution de deux plis particuliers à la face endocavitaire de la membrane du tympan. Dans son trajet en arrière du marteau, la corde est enveloppée dans le pli malléaire postérieur, qui limite avec la pars tensa le récessus postérieur de la membrane du tympan (figure 36). Dans son segment antérieur, la corde soulève le pli malléaire antérieur, qui engaine également le processus antérieur et le ligament antérieur du marteau ainsi que l'artère tympanique antérieure, et constitue avec la pars tensa le récessus antérieur de la membrane du tympan.

b- Le récessus épitympanique :

C'est l'étage supérieur de la caisse du tympan qui contient la tête du marteau, le corps et la branche courte de l'enclume (figure 37). Cette cavité représente environ un tiers du volume de la caisse du tympan et communique en arrière, au travers de l'aditus ad antrum, avec les annexes mastoïdiennes.

L'épitympaum est séparé en deux cavités latérale et médiale par une cloison sagittale ostéo-ligamentaire formée par la branche courte et le corps de l'enclume, la tête du marteau et

les ligaments et plis supérieurs de l'enclume et du marteau. Cette cloison ne se prolonge pas jusqu'à la paroi antérieure du récessus où l'on décrit un troisième compartiment, antérieur.

Le compartiment médial est le plus vaste. Il est limité vers le haut par le tegmen tympani, en dedans par la paroi labyrinthique, en dehors par la cloison sagittale. Sa paroi inférieure, réalisée par le diaphragme tympanique, le sépare de l'atrium. En arrière du muscle tenseur du tympan, il communique avec l'atrium au travers de l'isthme tympanique antérieur.

Le compartiment latéral est plus étroit et se situe entre la cloison interépitympanique en dedans et l'écaille du temporal en dehors. La NA le nomme partie cupulaire, terme que nous réservons à la partie squameuse de ce même récessus (mur de la logette). À la partie inférieure de ce compartiment on trouve le récessus supérieur de la membrane du tympan, partie intégrante de l'épitympanum, limité vers le haut par le ligament latéral du marteau, en bas par le processus latéral du marteau et le pli antérieur du marteau, latéralement par la pars flaccida, tendu entre l'incisure tympanique et les ligaments tympano-malléaires. Cet espace communique en arrière avec l'épitympanum et vers le bas avec les récessus antérieur et postérieur de la membrane du tympan.

Un troisième compartiment est décrit au niveau de la portion antérieure de l'épitympanum et prend le nom de récessus épitympanique antérieur ou fossette sus-tubaire selon les auteurs [26,31-35]. Cet espace, de volume variable, se situe en avant de la tête du marteau dont il est le plus souvent séparé par une lame osseuse prémalléaire qui descend du tegmen tympani. Cette crête osseuse s'étend du canal facial (région du ganglion géniculé) à la partie cupulaire et peut être recouverte d'une membrane muqueuse se prolongeant vers le bas jusqu'au col du marteau et l'isoler ainsi du récessus épitympanique vers l'arrière. La limite inférieure de cet espace est constituée par le pli du tendon du muscle tenseur du tympan, qui peut être ossifié et se nommer alors crête sus-tubaire selon Adrea [26,32]. Il faut retenir que si le pli est peu développé, l'espace est en communication directe avec le protympanum vers le bas, tandis que si le pli est bien présent, il sépare totalement le récessus de l'étage inférieur de la caisse. Une bonne connaissance anatomique de cette région est indispensable dans la

chirurgie du cholestéatome. Pour effectuer une épitympanectomie antérieure correcte, l'exérèse de la lame osseuse est nécessaire. De même, l'aération des compartiments de l'oreille peut exiger l'ablation du pli du tendon du muscle tenseur du tympan lorsque celui-ci cloisonne vers le bas le récessus épitympanique.

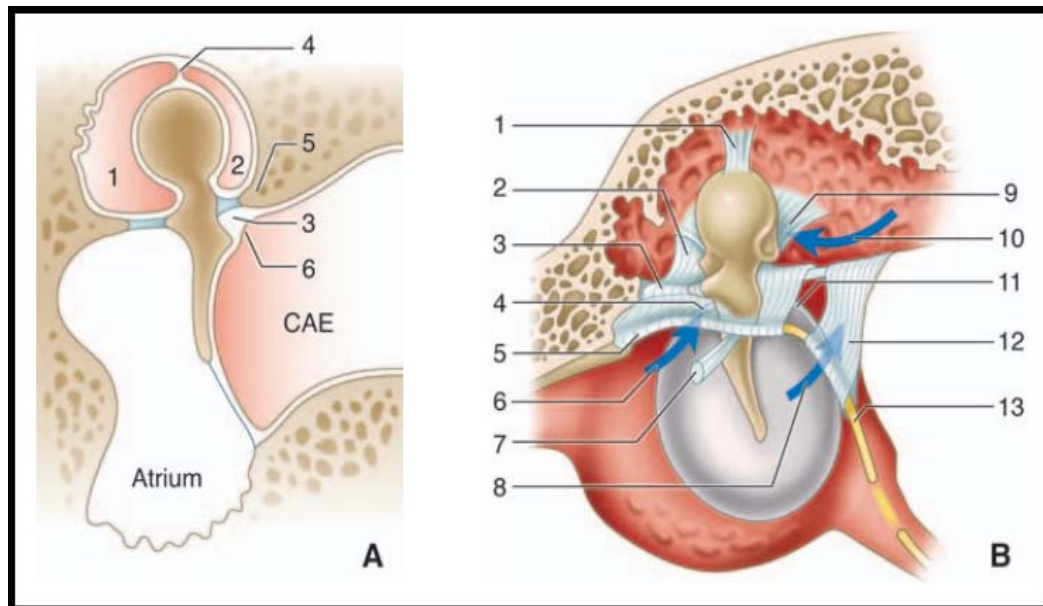


Figure 36.

A. Les différents compartiments de la cavité tympanique.

1. Attique interne ; 2. Attique externe ; 3. Poche de Prussak ; 4. Cloison interatticale ; 5. Mur de la logette ; 6. Membrane de Shrapnell ou pars flaccida.

B. Récessus antérieur et postérieur de la membrane du tympan.

1. Ligament supérieur du marteau ; 2. Pli antérieur du marteau ; 3. Processus antérieur du marteau et ligament antérieur du marteau ; 4. Ligament tympano-malléaire antérieur ; 5. Pli malléaire antérieur ; 6. Récessus antérieur de la membrane du tympan ; 7. Tendon du muscle tenseur du tympan ; 8. Récessus postérieur de la membrane du tympan ; 9. Ligament latéral du marteau ; 10. Récessus supérieur de la membrane du tympan ; 11. Ligament tympano-malléaire postérieur ; 12. Pli malléaire postérieur ; 13. Corde du tympan. MAE. [21]

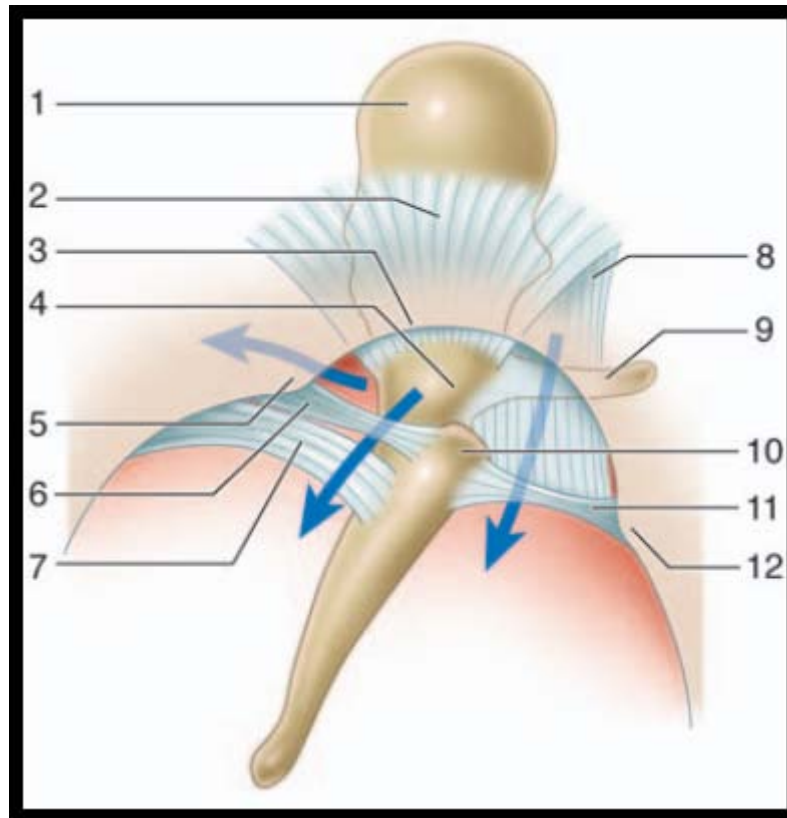


Figure37. Récessus supérieur de la membrane du tympan. [31]

1. Tête du marteau ; 2. Ligament latéral du marteau ; 3. Incisure tympanique ; 4. Col du marteau ; 5. Petite épine tympanique ; 6. Ligament tympano malléaire postérieur ; 7. Pli malléaire postérieur ; 8. Pli antérieur du marteau ; 9. Processus antérieur du marteau ; 10. Processus latéral du marteau ; 11. Ligament tympano malléaire antérieur ; 12. Grande épine tympanique.

Les flèches illustrent les voies de communication entre le récessus supérieur de la membrane du tympan d'une part, et le récessus épitympanique et les récessus antérieur et postérieur de la membrane tympanique d'autre part.

3. Les cavités mastoïdiennes :

Elles forment l'une des trois parties de l'oreille moyenne. Elles sont constituées de cellules aérifères creusées à l'intérieur de la portion mastoïdienne de l'os temporal. De volume et de taille très variables, on distingue dans tous les cas une cellule plus grande et de localisation anatomique constante, **l'antre mastoïdien**, tout autour duquel sont disposées **les cellules mastoïdiennes**.

3.1- L'antre mastoïdien :

C'est la principale cellule des annexes mastoïdiennes (figure 38). Il est positionné en arrière du récessus épitympanique, et se projette sur la corticale mastoïdienne au niveau de l'épine supraméatique et de la zone criblée rétroméatique selon un carré de 1 cm de côté dont la limite supérieure est la ligne temporale et la limite antérieure est tangente à la face postérieure du MAE. Il est situé au niveau de la caisse du tympan, au même titre que l'aditus ad antrum, tandis que les annexes mastoïdiennes sont regroupées en deux entités : les cellules mastoïdiennes et les cellules tympaniques. De façon très schématique on assimile l'antre à un polyèdre à six faces :

- La paroi supérieure. Elle constitue le tegmen antri, qui prolonge vers l'arrière le tegmen tympani. Cette paroi est le plus souvent mince et sépare l'antre du lobe temporal. Rarement déhiscente, elle est parfois creusée de cellules sous-antrales.
- La paroi inférieure. Elle est en rapport avec les cellules sous-antrales profondes ou traînée inter-sinuso-faciale. Son niveau est variable mais le plus souvent déclive par rapport à l'aditus ad antrum.
- La paroi médiale. De constitution pétreuse, elle est en rapport dans sa partie antérieure avec le labyrinthe osseux : proéminence du canal semi-circulaire latéral et plus en profondeur le canal semi-circulaire postérieur. Vers l'arrière, sa trépanation donne accès à la fosse cérébrale postérieure.
- La paroi latérale. De constitution squameuse, elle représente la voie d'abord chirurgicale de l'antre. Entre la corticale mastoïdienne et l'antre se situent les cellules péri-antrales superficielles.
- La paroi postérieure. Elle est en rapport avec la portion descendante du sinus sigmoïde.
- La paroi antérieure. L'antre est en communication directe avec l'épitympanum au travers de l'aditus ad antrum, véritable canal, qui se situe dans le segment supérieur de cette face. Le segment inférieur de cette paroi est constitué par une lame osseuse (ped de l'os squameux) qui, de part et d'autre du sulcus tympanicus, sépare l'antre de la

cavité tympanique en profondeur, et du méat acoustique externe en superficie. Le nerf facial pénètre dans la mastoïde au niveau du plancher de l'antre puis chemine à la partie profonde de la lame osseuse, habituellement dénommée massif du facial de Gellé.

Les rapports entre la troisième portion du nerf facial et le sulcus tympanicus sont importants à retenir. Le nerf facial descend selon un axe vertical pour se superficialiser de 2 à 3 mm au niveau de son point de sortie de l'os temporal. Du fait de l'inclinaison de la membrane tympanique, le nerf facial et le sillon tympanique se croisent en X allongé, environ à la hauteur de la fenêtre cochléaire.

3.2- Les cellules mastoïdiennes :

Elles sont réparties autour de l'antre et sont habituellement scindées en deux groupes: un antérieur et un postérieur (figure 38). Une cloison vestigiale peut être rencontrée entre les deux groupes. Elle sépare la partie antérolatérale des cellules mastoïdiennes d'origine squameuse de la partie postéro médiale d'origine pétreuse.

a- Le groupe antérieur :

Il est formé de deux colonnes : une superficielle et une profonde.

- *La colonne superficielle* comprend trois étages du haut vers le bas :
 - ✓ Les cellules périlantrales superficielles en rapport avec la paroi latérale de l'antre. Parmi ces cellules, la grosse cellule de Lenoir ne doit pas être confondue avec l'antre ;
 - ✓ les cellules sous-antrales superficielles ;
 - ✓ les cellules de la pointe mastoïdienne.
- *La colonne profonde* comprend deux étages :
 - ✓ L'antre occupe la partie supérieure ;
 - ✓ Les cellules sous-antrales profondes sont situées vers le bas. Elles représentent la traînée inter-sinuso-faciale.

b- Le groupe postérieur :

Il correspond aux deux groupes cellulaires pré- et rétro-sinusien.

- Le groupe présinusien est représenté principalement par les cellules inter-sinuso-méningées (angle sinusodural).
- Le groupe rétro-sinusien est le plus postérieur, et est centré par la veine émissaire mastoïdienne.

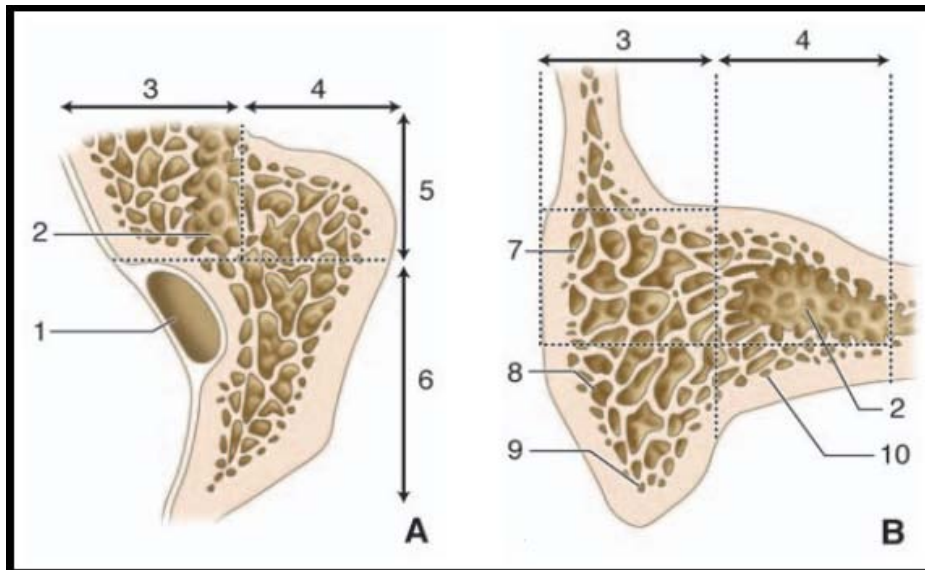


Figure 38. Systématisation des annexes mastoïdiennes.

A. Coupe schématique horizontale des annexes mastoïdiennes passant par l'antre.

B. Coupe schématique frontale passant au niveau du groupe antérieur des cellules mastoïdiennes.

1. Sinus latéral ; 2. Cellule antrale ; 3. Colonne profonde du groupe antérieur des cellules mastoïdiennes ; 4. Colonne superficielle du groupe antérieur des cellules mastoïdiennes ; 5. Groupe antérieur des cellules mastoïdiennes ; 6. Groupe postérieur des cellules mastoïdiennes ; 7. Cellules périantrales superficielles ; 8. Cellules sous-antrales superficielles ; 9. Cellules de la pointe mastoïdienne ; 10. Cellules sous-antrales profondes. [22]

4. La trompe d'eustache:

La trompe auditive qui relie la paroi antérieure de la caisse du tympan à la paroi latérale du rhinopharynx est formée par la réunion de deux structures de natures différentes (figures

39–42). Son segment postérolatéral, creusé dans la partie inférieure de l'os temporal, constitue la partie osseuse de la trompe auditive. Guerrier [27] et Bremond [20] considèrent que cette portion osseuse n'est autre que le protympanum de la caisse du tympan, situé en avant du mésotympanum. Son segment antéromédial, plus long, appartient au pharynx, et constitue la partie cartilagineuse de la trompe auditive.

Ces deux portions ont toutes les deux la forme d'un cornet aplati dans le sens transversal, et se réunissent par leurs sommets tronqués au niveau de l'isthme de la trompe auditive. La longueur totale de la trompe varie de 31 à 38 mm. La portion osseuse mesure 11 à 12 mm, tandis que la portion cartilagineuse mesure 24 à 25 mm en moyenne [31]. À partir de son orifice tympanique la trompe se dirige vers le bas, en avant et en dedans. Chez l'adulte, la trompe réalise une inclinaison de 30 à 40° avec le plan horizontal de telle sorte que l'orifice pharyngé se situe 15 mm plus bas que l'orifice tympanique. Chez l'enfant, la trompe a une direction plus horizontale de 10° environ. Par rapport à l'axe antéropostérieur, la trompe fait un angle de 45° dirigé vers l'intérieur. Les deux segments osseux et fibrocartilagineux de la trompe réalisent entre eux un angle de 160° ouvert vers le bas [36,37].

Le calibre de la trompe varie selon le niveau considéré. L'isthme est le point le plus étroit, il mesure 2 mm de haut sur 1 mm de large. La lumière de la trompe à partir de ce goulot s'agrandit dans les deux directions.

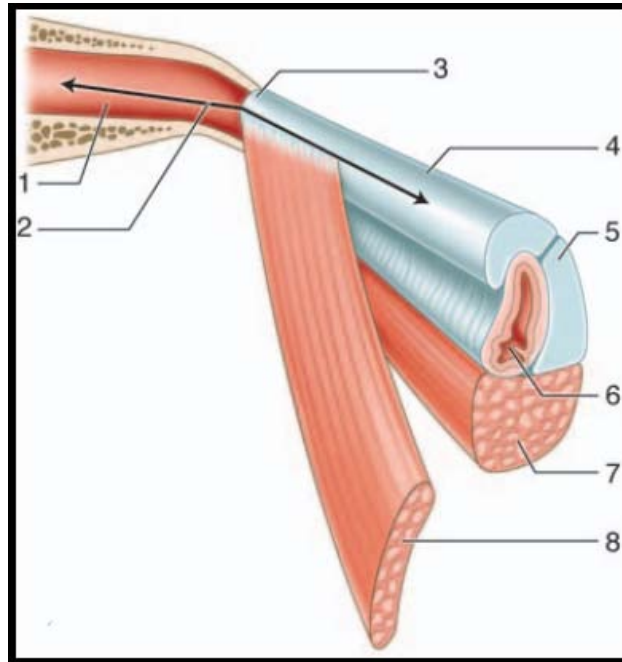


Figure 39. Vue schématique de la trompe auditive. [1]

1. Partie osseuse de la trompe auditive ; 2. Ori ficetympanique de la trompe auditive ; 3. Isthme de la trompe auditive ; 4. Partie cartilagineuse de la trompe auditive ; 5. Cartilage tubaire ; 6. Ori pharyngien de la trompe auditive ; 7. Muscle élévateur du voile du palais ; 8. Muscle tenseur du voile du palais.

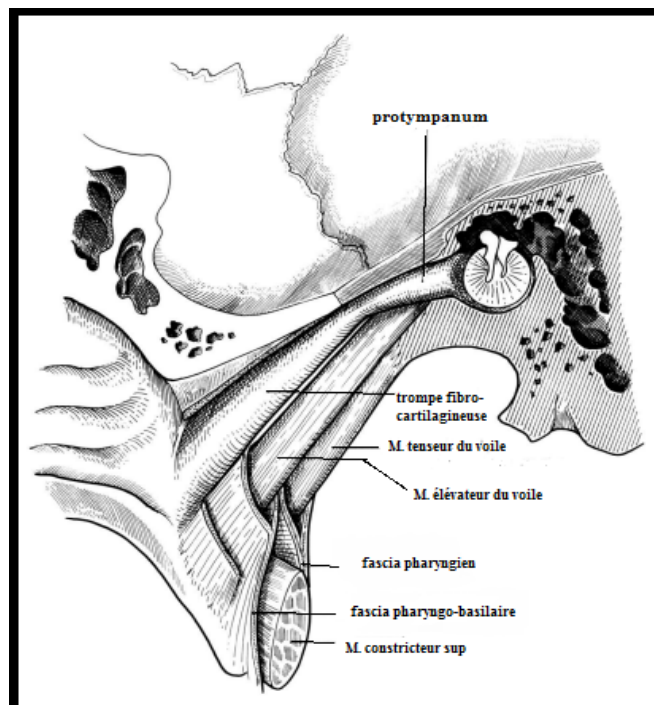


Figure 40. La situation de la trompe auditive. Vue postéro-médiale. [9]

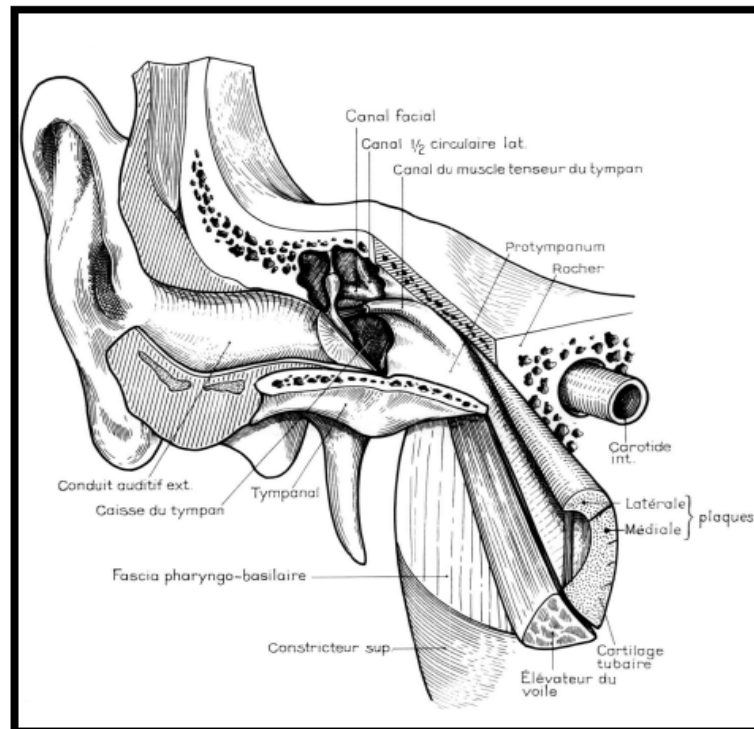


Figure 41. La situation de la trompe auditive. Vue antéro-latérale. [9]

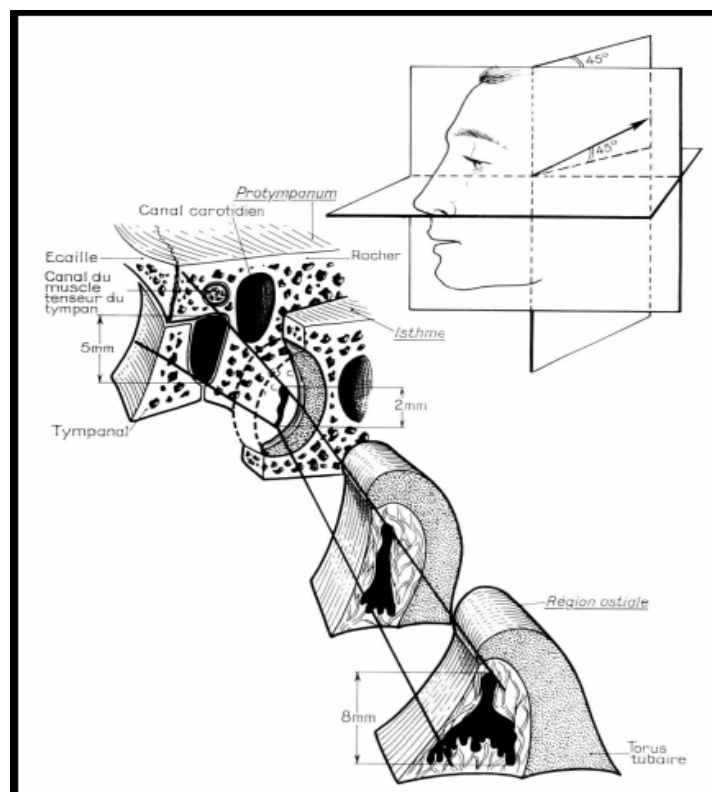


Figure 42. La constitution et les dimensions de la trompe auditive. [9]

4.1- La partie latérale purement osseuse : le protympanum [26,32] :

C'est un canal mesurant 11 à 12 mm, logé dans l'os temporal, auquel on décrit quatre parois et deux orifices (figure 43). Situé dans le prolongement de la caisse du tympan, le segment osseux de la trompe est creusé à l'intérieur de la partie pétreuse de l'os temporal, et la partie tympanique constitue le couvercle externe.

- L'orifice postérieur ou tympanique de la trompe auditive délimite le point d'entrée dans la portion osseuse et mesure 5 mm de haut et 3 mm de large.
- La paroi médiale est en rapport avec le canal carotidien dont elle n'est séparée que par une mince cloison osseuse, parfois déhiscente. Cette paroi est perforée du canal carotico-tympanique et de petits orifices veinulaires anastomotiques.
- La paroi supérieure de constitution pétreuse prolonge vers l'avant le tegmen tympani. Le canal du muscle tenseur du tympan est situé à la partie interne de cette paroi et n'est séparé de la trompe osseuse que par une fine cloison osseuse. Ces deux canaux sont accolés l'un sur l'autre à la manière des canons d'un fusil, et la NA désigne le canal osseux de la trompe auditive sous le terme de canal musculo-tubaire avec en haut la gouttière du muscle tenseur du tympan et en bas la gouttière, du tube auditif, les deux éléments étant séparés par le septum du canal musculo-tubaire.
- La paroi latérale répond essentiellement à la partie tympanique de l'os temporal. Vers le haut, la paroi est formée par le prolongement inférieur du tegmen tympani, et la suture entre ces deux os réalise la fissure pétrotympanale, segment antérieur de la scissure de Glaser ou fissure pétro-tympano-squameuse.
- La paroi inférieure est épaisse et de constitution pétro-tympanique. Elle répond au canal carotidien.
- L'orifice antérieur a une forme biseautée et est situé sur la face exocrânienne de la base du crâne en arrière du foramen épineux (ou trou petit rond). Au cours de la chirurgie de l'OM certains auteurs proposent de réaliser une tuboplastie, en fraisant les parois du protympanum, dans le but de favoriser la ventilation de l'OM.

- L'isthme tubaire : il constitue la portion la plus étroite de la trompe auditive. Il représente un goulet d'étranglement de la trompe de 2 mm de hauteur et de 1 mm de large situé entre le canal carotidien médialement et l'ATM latéralement (figure 42).

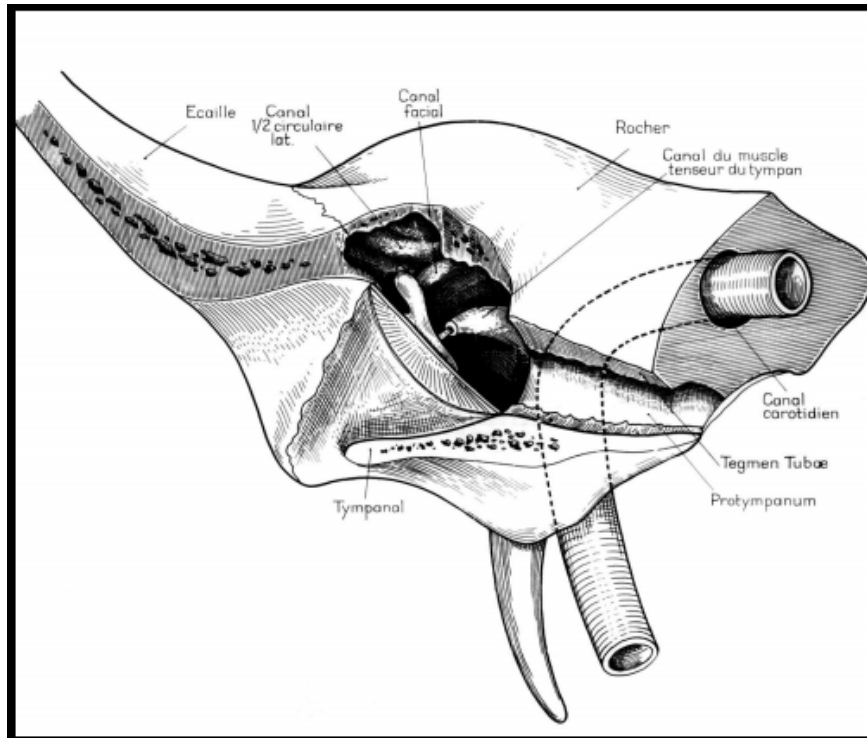


Figure 43. Vue antérolatérale du protympanum. [9]

4.2- la partie médiale cartilagineuse :

Elle est plus allongée (deux tiers de longueur) avec une partie longue de 20 à 24 mm, elle s'étend de l'isthme à l'orifice pharyngien. Elle a une direction en bas, en avant, et vers la ligne médiane (figures 42,44) [31].

La trompe fibrocartilagineuse est un canal constitué par une pièce cartilagineuse en forme de gouttière ouverte vers le bas, complétée par une lame fibreuse (figure 45).

Le cartilage tubaire réalise l'armature de la trompe. On lui décrit deux parties réunies au niveau de la concavité de la gouttière :

- Une lame médiale représentant la paroi médiale du canal. De forme triangulaire, sa hauteur augmente progressivement d'arrière en avant jusqu'à sa terminaison

pharyngée où elle mesure 2 cm et constitue le torus tubaire;

- Une lame latérale formant la partie supérieure du canal. C'est une bande mince et étroite.

La lame fibreuse ou lame membranacée complète le canal. Elle s'étend d'un bord à l'autre de la gouttière cartilagineuse et forme les parois inférieure et latérale de la trompe. Deux types de fibres constituent cette lame. Au niveau de la paroi latérale, il s'agit de fibres de collagène inextensibles, tandis qu'au niveau de la paroi inférieure, il s'agit de fibres élastiques autorisant les mouvements d'ouverture et de fermeture de la trompe (figure 46).

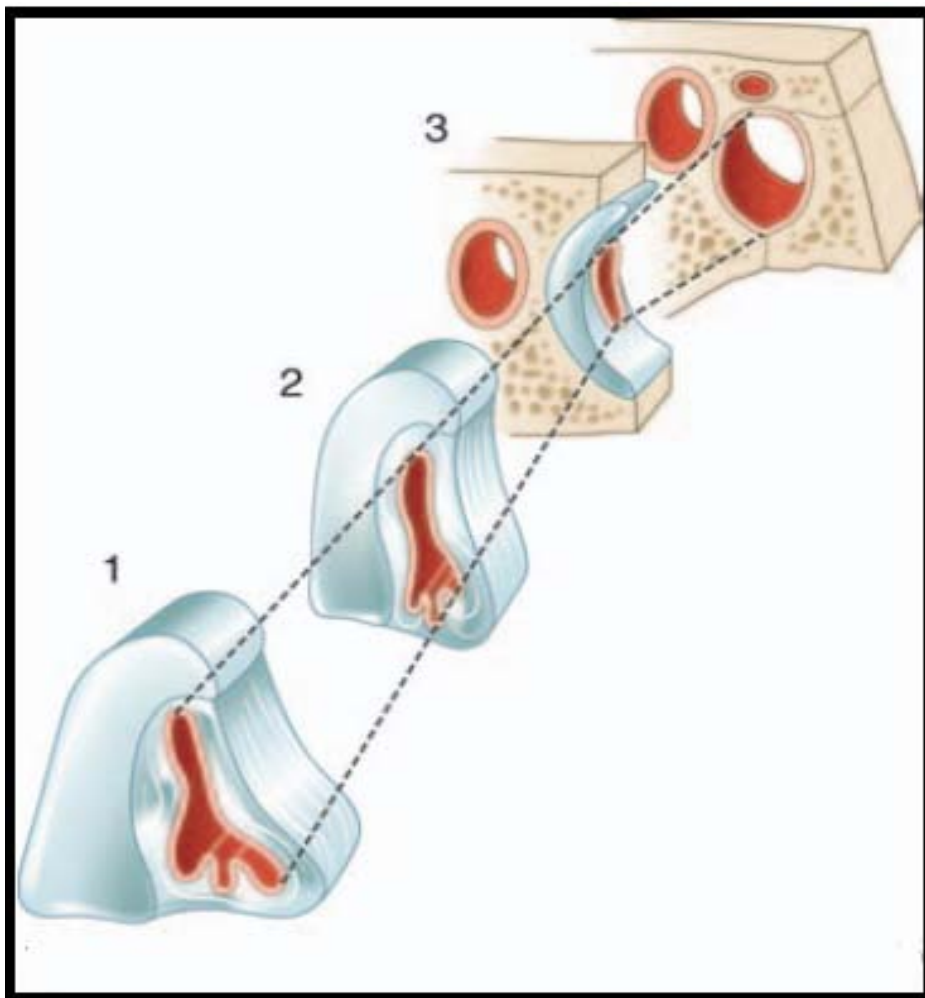


Figure 44. Aspects schématiques de la lumière tubaire. [1]

1. Trompe cartilagineuse basse ; 2. Trompe cartilagineuse haute ; 3. Région tubaire présthmique.

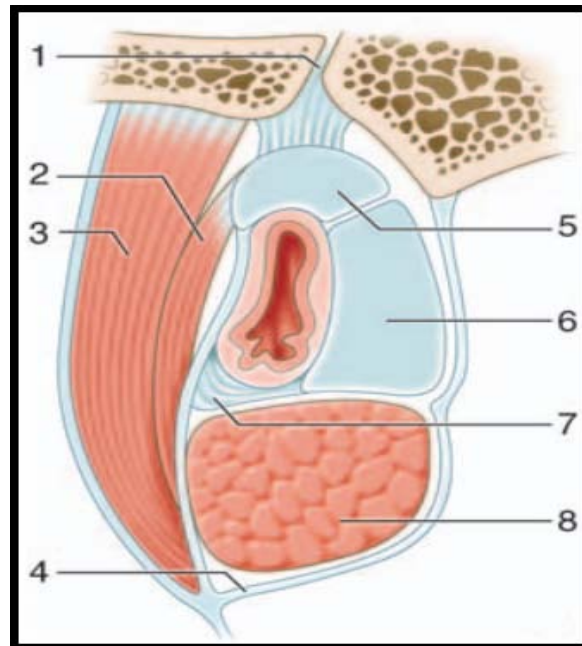


Figure 45. Partie cartilagineuse de la trompe auditive.

1. Gouttière tubaire au niveau de la fissure sphénoptéreuse ; 2. Muscle tenseur du voile du palais, couche superficielle des fibres musculaires ; 3. Muscle tenseur du voile du palais, couche profonde des fibres musculaires ; 4. Fascias pharyngiens ; 5. Cartilage de la trompe auditive, lame latérale ; 6. Cartilage de la trompe auditive, lame médiale ; 7. Lame membranacée de la partie cartilagineuse de la trompe auditive ; 8. Muscle élévateur du voile du palais. [21]

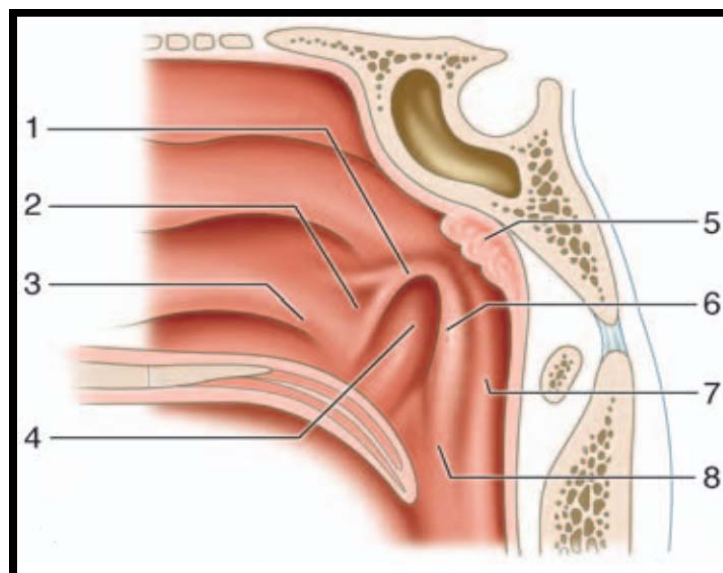


Figure 46. Ori fice pharyngien de la trompe auditive.

1. Lèvre antérieure de l'ori fice pharyngien de la trompe auditive ; 2. Pli salpingopalatin ; 3. Queue du cornet inférieur ; 4. Pli du releveur (muscle élévateur du voile du palais) ; 5. Tonsille pharyngienne (adénoïde) ; 6. Lèvre postérieure de l'orifice pharyngien de la trompe auditive (torus tubaire) ; 7. Récessus pharyngien ; 8. Pli salpingo-pharyngien. [21]

4.3- Les rapports et moyens de fixité de la trompe :

Par sa face supérieure, la trompe est amarrée à la base du crâne. Dans sa partie postérieure elle est adossée et solidement fixée par du tissu fibreux à la gouttière tubaire qui longe la fissure sphénoptéreuse (figure 46). Plus en avant, elle s'écarte de la base du crâne et vient s'appuyer sur l'échancrure tubaire de la lame médiale du processus ptérygoïde (figure 47).

La face inférieure de la trompe est longée par le muscle élévateur du voile du palais et contracte des rapports étroits avec les fascias pharyngiens qui engainent la trompe dans sa partie postérieure.

La face latérale de la trompe est en rapport avec le muscle tenseur du voile du palais qui s'insère sur elle.

La face médiale est croisée en arrière par le muscle élévateur du voile du palais. En avant, elle est recouverte par la muqueuse pharyngée.

Au total, l'anatomie de la trompe auditive correspond à deux structures : le protympanum structure osseuse et fixe, l'autre mobile, la portion fibrocartilagineuse, partie fonctionnelle de la trompe. La biomécanique des muscles tenseurs et élévateurs du voile du palais explique l'ouverture rythmique lors de la déglutition de la lumière tubaire visuelle au repos.

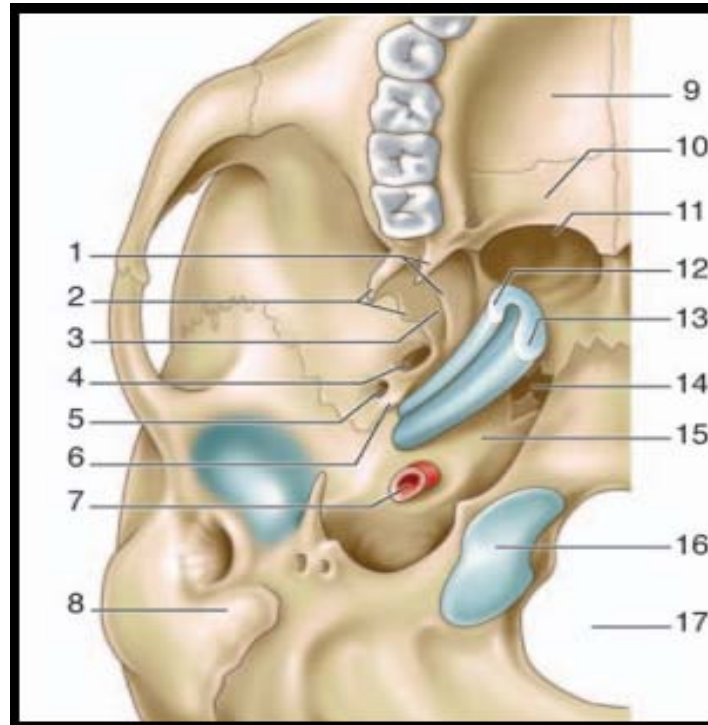


Figure 47. Partie cartilagineuse de la trompe auditive à la base externe du crâne : vue inférieure.[1]

1. Hamulus de la lame ptérygoïdienne médiale ; 2. Lame ptérygoïdienne latérale ; 3. Fosse scaphoïde ; 4. Foramen ovale ; 5. Foramen épineux ; 6. Épine du sphénoïde ; 7. Artère carotide interne entrant dans le canal carotidien ; 8. Processus mastoïde ; 9. Processus palatin du maxillaire ; 10. Lame horizontale de l'os palatin ; 11. Choanes ; Partie cartilagineuse de la trompe auditive : lame latérale (12) et lame médiale (13) ; 14. Foramen déchiré ; 15. Partie pétreuse du temporal ; 16. Condyle occipital ; 17. Foramen magnum.

5. La vascularisation de l'oreille moyenne :

5-1 La vascularisation artérielle :

Plusieurs pédicules sont responsables de l'apport artériel de l'oreille moyenne. Ils prennent leur origine des artères carotide externe, carotide interne et de l'artère vertébrale. Ils sont responsables d'un complexe réseau sous-muqueux fortement anastomosé. On trouve les pédicules suivants (figure 48) :

* *Artère tympanique antérieure.* Première branche de l'artère maxillaire interne, elle pénètre dans la caisse du tympan en traversant la fissure pétro-tympano-squameuse. Elle se divise en trois branches dont une à destinée ossiculaire qui assure la majeure

partie de la vascularisation du marteau et de l'enclume [38]. Les autres branches vascularisent le récessus épitympanique à l'exception de sa face médiale.

- * *Artère caroticotympanique*. Elle naît de la carotide interne à la jonction des portions verticale et horizontale du canal carotidien. Elle vascularise la paroi antérieure de la caisse.
- * *Artère tympanique supérieure*. Branche de l'artère méningée moyenne, elle pénètre le rocher par la fissure pétrosquameuse supérieure. Elle vascularise la paroi médiale du récessus épitympanique et le muscle tenseur du tympan.
- * *Artère pétreuse superficielle*. Branche également de l'artère méningée moyenne, elle pénètre le rocher par le hiatus du canal du nerf grand pétreux et s'anastomose avec l'artère stylomastoïdienne. Elle vascularise la paroi médiale du récessus épitympanique.
- * *Artère tympanique inférieure*. Branche de l'artère pharyngienne ascendante, elle pénètre dans la caisse en empruntant le canal de Jacobson dans lequel passe aussi le nerf tympanique. Elle vascularise la paroi inférieure de la caisse et le promontoire.
- * *Artère stylomastoïdienne*. Branche de l'artère auriculaire postérieure, elle chemine dans le canal facial en compagnie du nerf facial après sa pénétration au niveau du trou stylomastoïdien. Elle vascularise la paroi postérieure de la caisse et la paroi antérieure des annexes mastoïdiennes. Une de ses branches suit le tendon du muscle de l'étrier et vascularise la région de la tête de l'étrier.
- * *Artère mastoïdienne*. Branche de l'artère occipitale, elle vascularise la partie postérieure de la mastoïde.
- * *Artère de la fossa subarcuata*. Branche de l'artère labyrinthique ou de l'artère cérébelleuse antéro-inférieure, elle pénètre l'os temporal au niveau de la fossa subarcuata située au-dessus et en arrière du pore acoustique interne, puis emprunte le canal pétromastoïdien [38]. Elle vascularise la région de l'antre mastoïdien.
- * *Artère de la trompe auditive* : C'est l'artère petite méningée ou méningée accessoire [30], qui naît soit de l'artère méningée moyenne, soit de l'artère maxillaire [21]. Elle vascularise la portion osseuse de la trompe auditive.

* L'étrier est vascularisé par les branches de deux vaisseaux : l'artère stylomastoïdienne principalement et l'artère tympanique inférieure. Le réseau superficiel sous-muqueux assure, par ailleurs, une irrigation par diffusion de cet osselet.

* La trompe auditive dans sa portion cartilagineuse est vascularisée par des vaisseaux différents dont les branches sont issus de :

- *L'artère pharyngienne ascendante*, branche de l'artère carotide externe ; elle représente l'artère principale de la musculature pharyngée se distribuant en particulier à la fossette de Rosenmüller ;
- *L'artère palatine ascendante*, branche de l'artère faciale ;
- *L'artère vidienne*, branche de l'artère maxillaire interne.

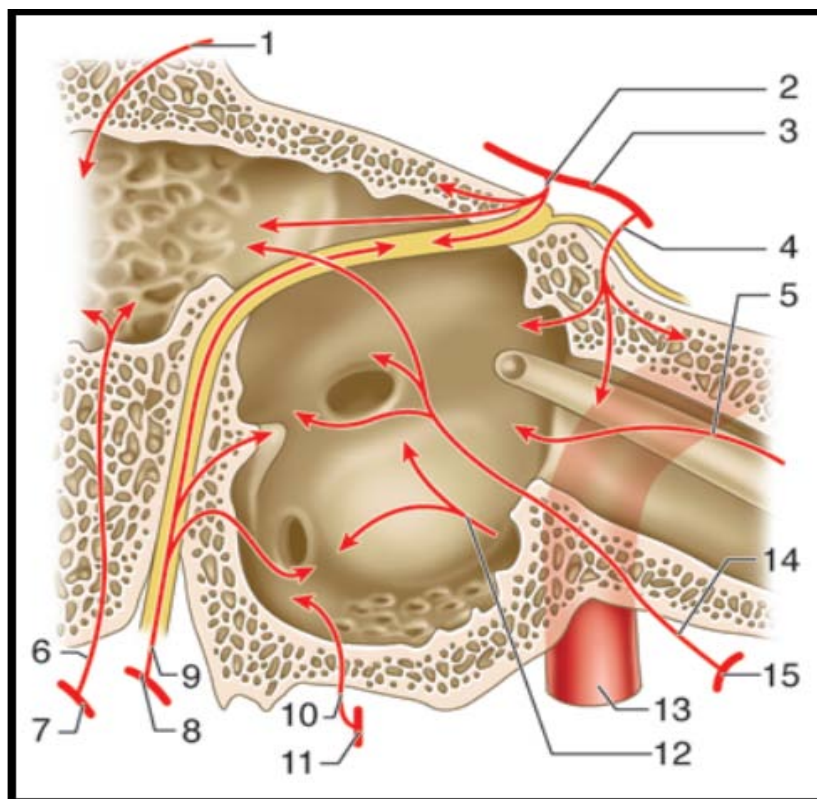


Figure 48. Vascularisation de l'oreille moyenne. [1]

1. Artère de la fossa subarcuata ; 2. Artère pétreuse superficielle ; 3. Artère méningée moyenne ; 4. Artère tympanique supérieure ; 5. Artère de la trompe auditive ; 6. Artère mastoïdienne ; 7. Artère occipitale ; 8. Artère auriculaire postérieure ; 9. Artère stylomastoïdienne ; 10. Artère tympanique inférieure ; 11. Artère pharyngienne ascendante ; 12. Artère caroticotympanique ; 13. Artère carotide interne ; 14. Artère tympanique antérieure ; 15. Artère maxillaire interne.

5-2 La vascularisation veineuse :

Les veines sont plus nombreuses et plus volumineuses que les artères. Elles empruntent les mêmes orifices et les mêmes trajets que les artères pour aller se jeter dans les collecteurs suivants :

- le plexus veineux ptérygoïdien
- les veines méningées moyennes ;
- le sinus pétreux supérieur ;
- le golfe de la jugulaire interne ou le sinus sigmoïde ;
- le plexus pharyngien (région du cavum).

5-3 Les lymphatiques :

Les vaisseaux lymphatiques de l'OM sont mal connus [21, 22, 24]. Le réseau lymphatique de la caisse du tympan et des annexes mastoïdiennes s'anastomose avec celui de la trompe auditive en avant. Le drainage se fait vers :

- le carrefour lymphatique pré-tubaire situé sur la paroi pharyngée latérale ;
- les ganglions rétropharyngiens ;
- les ganglions latéraux profonds du cou.

6. L'innervation de l'oreille moyenne :

6-1 L'innervation motrice

Le muscle de l'étrier est innervé par le nerf de l'étrier, rameau issu de la portion mastoïdienne du nerf facial (VII).

Le muscle tenseur du tympan est innervé par le nerf mandibulaire (V/3) (branche du trijumeau) par une branche qui est commune au ptérygoïdien interne et au péristaphylin externe.

6-2 L'innervation sensitive :

L'innervation sensitive de la couche cutanée de la membrane du tympan est particulièrement développée, ce qui rend compte de sa très grande sensibilité. La membrane

du tympan correspond au sommet de la zone de Ramsay–Hunt dont l'innervation est assurée par le nerf auriculotemporal (branche du nerf mandibulaire), le rameau auriculaire du nerf vague, la corde du tympan et le nerf intermédiaire du facial.

L'innervation au niveau de la muqueuse de la caisse du tympan est assurée par le nerf tympanique ou nerf de Jacobson. Ce nerf naît du ganglion inférieur ou ganglion d'Andersch annexé au nerf glossopharyngien puis pénètre dans la caisse du tympan au travers d'un canal creusé à sa face inférieure.

Au niveau du promontoire, il s'épanouit en six branches : [39]

- Deux branches postérieures pour chacune des fenêtres ;
- Une branche tubaire pour le protympanum ;
- Une branche caroticotympanique qui va s'anastomoser avec le plexus péricarotidien ;
- Deux branches supérieures terminales : le grand et le petit nerfs pétreux profonds qui vont se jeter respectivement dans le grand et le petit nerfs pétreux superficiels qui cheminent sur le bord antérieur du rocher.

IV. Anatomie de l'oreille interne: [40]

L'oreille interne (OI), ou labyrinthe (figure 49), est située au sein de la pyramide pétreuse de l'os temporal. Elle comporte un ensemble de cavités osseuses, ou labyrinthe osseux, contenant des structures tubulaires formant le labyrinthe membraneux. Au sein de ce dernier se trouvent l'organe sensoriel cochléaire destiné à l'audition et les capteurs sensitifs vestibulaires spécialisés dans la détection des accélérations angulaires et linéaires de la tête.

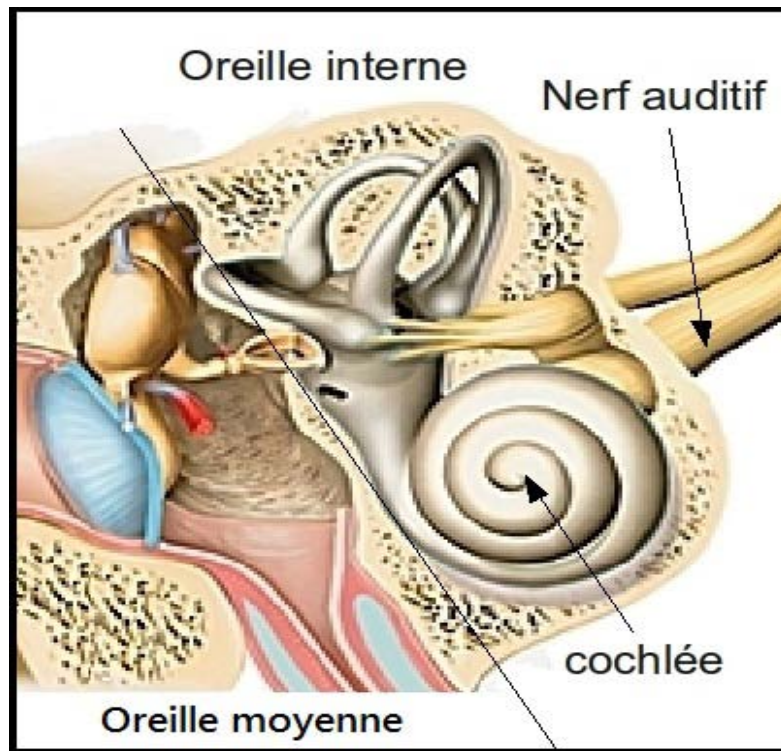


Figure 49. La situation générale de l'oreille interne. [41]

1. Le labyrinthe osseux :

Il dérive de la couche périostique interne de la capsule otique. C'est une coquille d'os dur et compact, formant le vestibule, les canaux semi-circulaires (CSCs) et la cochlée (figure 50). Deux canaux issus du labyrinthe osseux rejoignent les enveloppes cérébrales : les espaces sous-arachnoïdiens pour l'aqueduc du limaçon et la dure-mère pour l'aqueduc du vestibule.

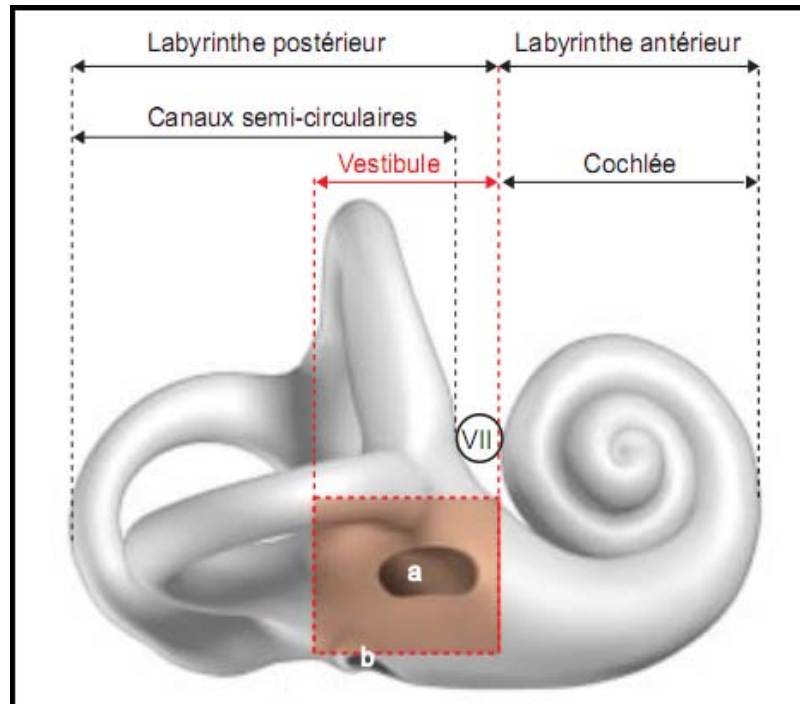


Figure 50. Vue latérale du labyrinthe osseux réduit à la capsule otique. [40]

a. Fenêtre vestibulaire ; b. Fenêtre cochléaire ; VII. Aqueduc de Fallope sectionné au niveau de sa première portion.

1.1- Le vestibule :

C'est la cavité centrale du labyrinthe osseux placée entre l'OM et le fond du méat acoustique interne (MAI). De forme ovoïde, aplatie transversalement, ses dimensions sont de 5 mm pour la longueur et de 5 mm pour la hauteur. La largeur au centre est de 3 mm, mais en périphérie, elle n'est que de 1,5 mm. Le vestibule répond à la moitié postérieure du fond du MAI (figure 51). Son axe longitudinal fait approximativement un angle de 45° avec l'axe du MAI (en réalité, 53°).

Schématiquement, on lui décrit une paroi latérale et une paroi médiale, réunies en haut, en avant, en arrière et en bas par des parois plus étroites (figure 52).

- **La *paroi latérale*** (figures 52 et 53) : Fortement convexe, elle comporte trois orifices :
 - **la *fenêtre vestibulaire*** (anciennement nommée fenêtré ovale) : située sur la partie antéro-inférieure de la paroi, elle est à cheval sur la paroi latérale et la paroi inférieure et regarde en bas, en avant et en dehors. En « gueule de four », elle est obturée par la base de l'étrier attachée par le ligament annulaire ;

- *l'orifice antérieur ampullaire du canal semi-circulaire latéral* : il occupe l'angle antéro-supérieur. Il est situé à 1 mm au-dessus de la fenêtre vestibulaire et séparé d'elle par un espace qui répond à la deuxième portion du canal facial (anciennement nommé l'aqueduc de Fallope);
- *l'orifice postérieur non ampullaire du canal semi-circulaire latéral* : il est placé dans l'angle postéro-supérieur, mais à un niveau légèrement plus bas que son orifice ampullaire. Il regarde franchement en arrière.

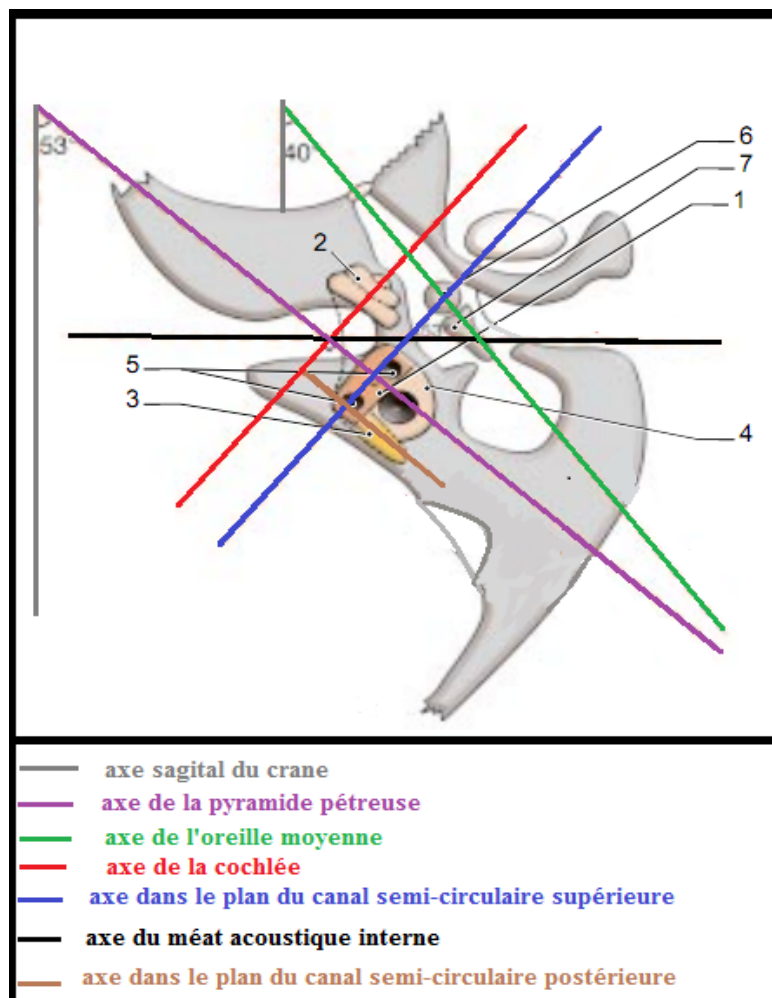


Figure 51. Orientation des éléments du labyrinthe osseux par rapport à l'axe de la pyramide pétreuse et l'axe sagittal du crâne [20].

1. Vestibule ; 2. Cochlée ; 3. CSC postérieur ; 4. CSC latéral ; 5. les deux orifices du CSC antérieur ; 6. Tête du marteau ; 7. Corps de l'enclume.

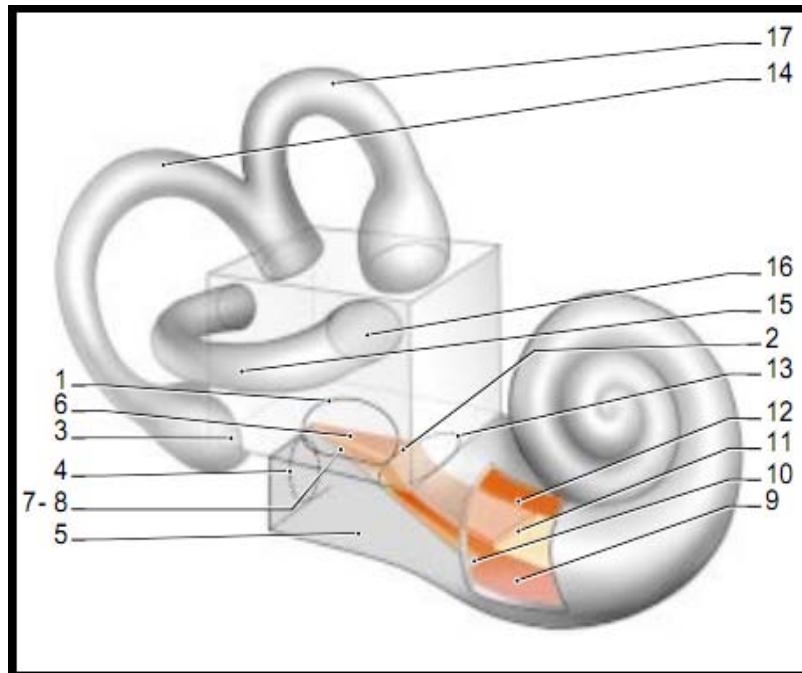


Figure 52. Vue schématique du labyrinthe osseux et constitution du plancher du vestibule. [40]

1. Fenêtre vestibulaire ; 2. Inflexion de la lame spirale ; 3. Orifice ampullaire du CSC postérieur ; 4. Fenêtre cochléaire ; 5. Cavité sous-vestibulaire ; 6. Partie de la lame spirale formant le plancher du vestibule ; 7. Lame spirale secondaire ; 8. Fente vestibulo-tympanique ; 9. Rampe tympanique ; 10. Lame spirale secondaire ; 11. Lame spirale ; 12. Rampe vestibulaire ; 13. Orifice vestibulaire du limaçon ; 14. CSC postérieur ; 15. CSC latéral ; 16. Orifice ampullaire du CSC latéral ; 17. CSC antérieur.

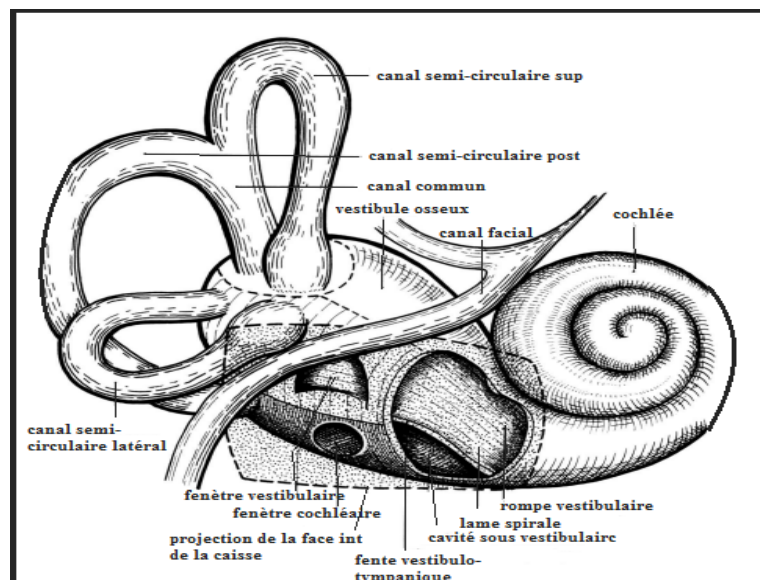


Figure 53. La paroi latérale du vestibule osseux. [9]

- **La paroi médiale** (figures 54–56, 58) : Elle est occupée par plusieurs fossettes séparées par des crêtes :
 - * **La fossette hémisphérique** est la plus volumineuse et la plus marquée. Elle est située à la partie antérieure et inférieure de la paroi. Elle reçoit le saccule. Son fond est perforé de multiples petits pertuis constituant la tache criblée moyenne qui laisse passer les filets sacculaires du nerf vestibulaire inférieur ;
 - * **La crête du vestibule** borde la fossette hémisphérique en haut et en arrière. En avant, elle se prolonge sur la paroi antérieure pour constituer une petite épine saillante longue parfois de 1 à 2 mm : la pyramide du vestibule. En bas et en arrière, la crête du vestibule s'incurve pour rejoindre la paroi inférieure. Le repère de la crête vestibulaire est constitué par une ligne horizontale passant par la lèvre supérieure de la fenêtre vestibulaire.
 - * **La fossette ovoïde** est elliptique à grand axe horizontal. Elle se trouve au dessus de la crête du vestibule. Elle est séparée de l'office ampullaire du canal semi-circulaire antérieur par une crête bien marquée : la crête ampullaire supérieure. Elle reçoit l'utricule. La moitié antérieure de la fossette ovoïde est occupée par un ensemble de petits pertuis qui occupent également la pyramide en constituant la tache criblée supérieure. Par ces orifices passent les branches du nerf utriculoampullaire (nerf vestibulaire supérieur) destinées à l'utricule et aux canaux latéral et antérieur ;
 - * **La fossette sulciforme** est à la limite postérieure de la fossette ovoïde. Elle constitue une petite gouttière verticale, à la partie supérieure de laquelle s'ouvre un canal osseux : l'aqueduc du vestibule ;
 - * **La fossette cochléaire** est en partie sur la paroi médiale et en partie sur la paroi inférieure. Elle se situe entre la crête ampullaire inférieure en arrière et un prolongement de la crête du vestibule en avant. Elle reçoit la partie caudale du canal cochléaire.

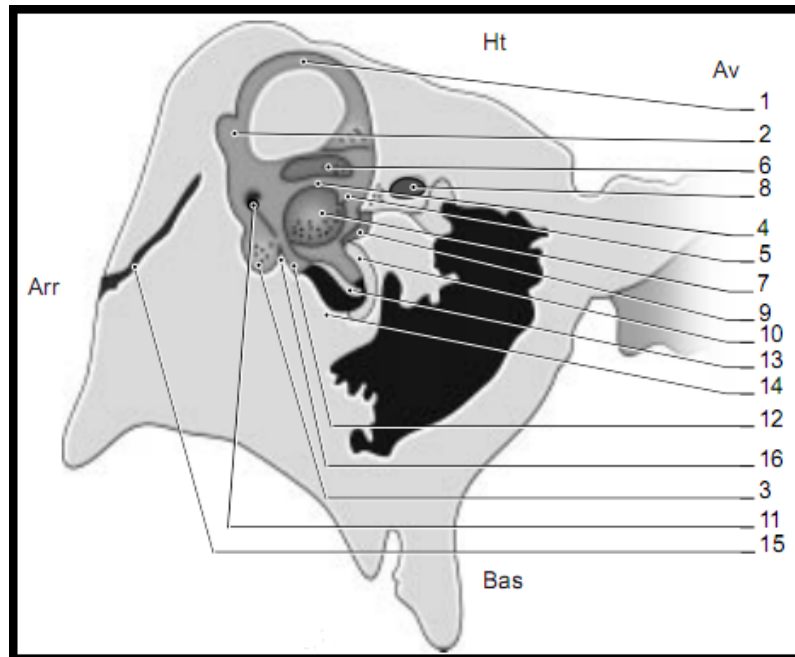


Figure 54. Coupe verticale du rocher droit dans le plan du CSC antérieur (segment antérieur de la coupe). [40]

1. CSC antérieur ; 2. Crus commune et sa division ; 3. Ampoule du CSC postérieur ; 4. Crête du vestibule ; 5. Pyramide ; 6. Fossette ovoïde ; 7. Fossette hémisphérique ; 8. Nerve facial ; 9. Bord antérieur de la fenêtré vestibulaire ; 10. Coupe du promontoire ayant ouvert le premier tour de spire de la cochlée ; 11. Ori fice de l'aqueduc du vestibule et gouttière sulciforme ; 12. Fossette cochléaire ; 13. Lame spirale ; 14. Rebord postéro-inférieur de la fenêtré cochléaire ; 15. Aqueduc du vestibule (portion ascendante) ; 16. Crête ampullaire inférieure.

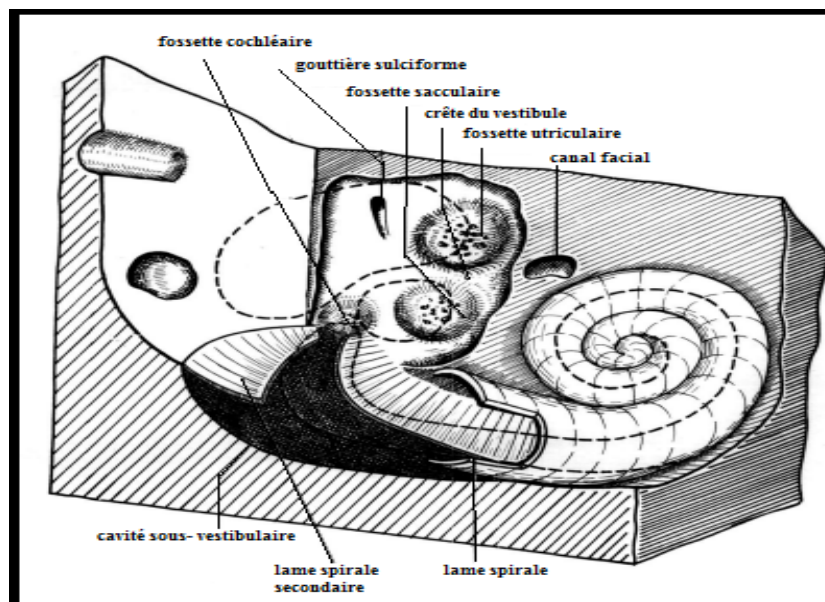


Figure 55. Parois médiale et postérieure du vestibule osseux. [9]

- **La paroi supérieure** : Étroite en avant, plus large en arrière, elle est presque entièrement occupée à ses deux extrémités par deux orifices à cheval sur la face latérale :
 - * En avant, l'orifice ampullaire du canal semi-circulaire antérieur, contigu à l'orifice ampullaire du canal latéral dont il est séparé par une arête vive. Cette arête doit être conservée le plus longtemps possible dans la voie translabyrinthique postérieure, car en avant d'elle se trouve la première portion du nerf facial, seulement séparée d'elle par les fibres ampullaires du nerf utriculo-ampullaire ;
 - * En arrière, l'orifice commun au canal semi-circulaire antérieur et au canal semi-circulaire postérieur s'ouvre juste au-dessus de l'orifice non ampullaire du CSC latéral, séparé de lui par une crête souvent très marquée.
- **la paroi postérieure** (figures 55,56) : Elle est également très étroite. À son extrémité inférieure se trouve l'orifice ampullaire du CSC postérieur. Cet orifice occupe l'angle de la paroi postérieure avec la paroi latérale et la paroi inférieure. Souvent profondément creusé dans l'épaisseur de la paroi postérieure, il reste bien séparé de la paroi inférieure par la crête ampullaire inférieure. Évasé, l'orifice ampullaire du CSC postérieur constitue le point déclive du vestibule. Sur la face médiale de cet orifice existent de petits pertuis constituant la tache criblée inférieure, livrant passage aux filets du nerf ampullaire postérieur.
- **la paroi inférieure** (figures 56, 57) : En forme de gouttière, elle est située dans le prolongement de la fenêtre vestibulaire située juste au-dessus. En avant se trouve l'orifice vestibulaire du limaçon. En arrière de l'orifice du limaçon, la paroi inférieure est complétée sur ses trois quarts médiaux par la portion vestibulaire horizontale terminale de la lame spirale qui rejoint la crête ampullaire inférieure. Le bord médial de la lame spirale s'implante sous la fossette hémisphérique. Son bord latéral reste libre. Le quart latéral restant est constitué par la lame spirale accessoire détachée de la paroi latérale. Entre le bord libre de la lame spirale et la lame spirale accessoire, existe

un petit hiatus en forme de faucille : la fente vestibulo-tympanique. Celle-ci est obturée à l'état frais par une lamelle fibreuse. Ainsi sont hermétiquement séparés le vestibule et la cavité sous-vestibulaire. La lame spirale s'étend ensuite vers l'avant et plonge vers le bas en limitant en arrière l'angle vestibulaire du limaçon. Elle se poursuit sur toute la longueur de la cochlée.

- **la paroi antérieure** (figure 58) : Très étroite (2 mm), elle reçoit l'épine de la pyramide du vestibule qui prolonge la crête du vestibule. La paroi antérieure répond en haut au canal facial qui la contourne, et en bas à la base du limaçon qui fait corps avec elle.

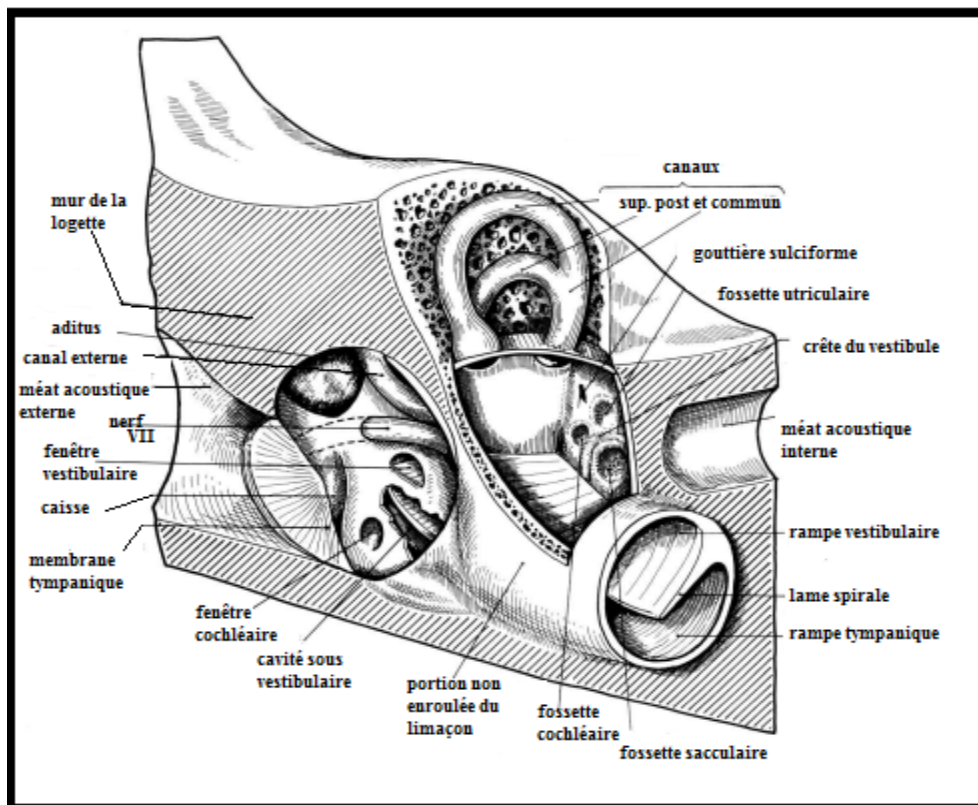


Figure 56. Les parois inférieure, postérieure et médiale du vestibule osseux. [9]

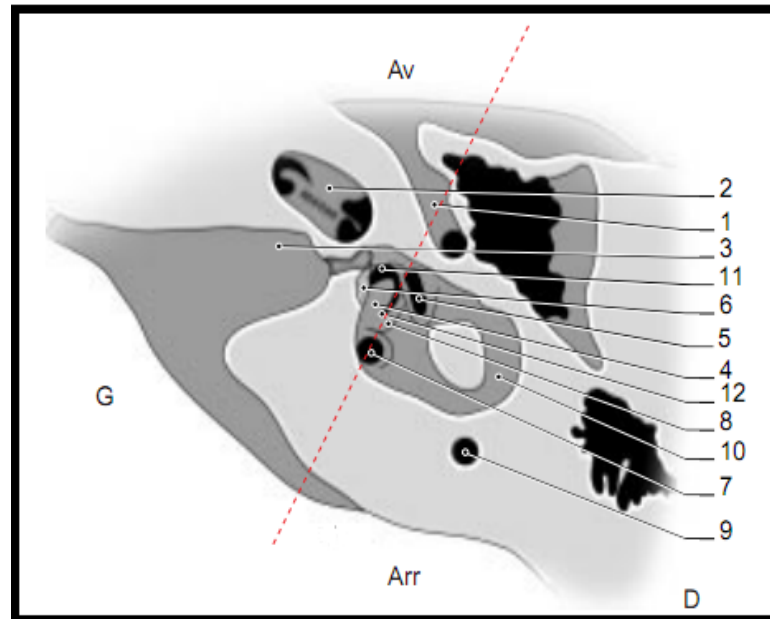


Figure 57. Coupe horizontale du rocher droit dans le plan du CSC latéral (Segment inférieur de la coupe). [40]

1. Canal facial ; 2. Cochlée ; 3. MAI ; 4. Fin de la lame spirale et plancher du vestibule ; 5. Fenêtre vestibulaire ; 6. Fossette hémisphérique ; 7. Orifice ampullaire du CSC postérieur ; 8. Lame spirale secondaire ; 9. CSC postérieur ; 10. CSC latéral ; 11. Orifice vestibulaire du limaçon ; 12. Fente vestibulo-tympanique.

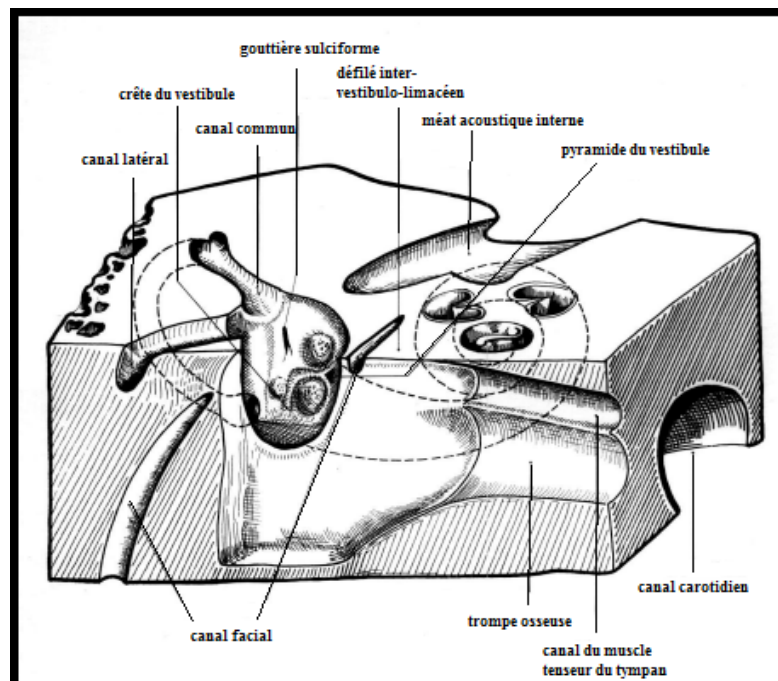


Figure 58. Les parois antérieure et médiale du vestibule osseux. [9]

1.2- Les canaux semi-circulaires :

Il y a trois canaux semi-circulaires (CSCs): latéral, antérieur et postérieur. Ils occupent la partie postéro-supérieure du labyrinthe. Chacun est formé par les deux tiers d'un anneau creux dont la lumière est d'environ 0,5 mm. À l'extrémité de chaque canal se trouve une dilatation : l'ampoule qui s'ouvre directement dans le vestibule. L'ampoule contient l'épithélium sensitif vestibulaire. Pour les canaux latéral et antérieur, les ampoules sont situées à leur extrémité antérieure. Au contraire, l'ampoule du canal postérieur est située à l'extrémité postérieure du canal. Les extrémités non ampullaires des canaux supérieur et postérieur se réunissent pour former la crux commune.

L'orientation des trois CSCs se fait dans les trois plans orthogonaux de l'espace (figure 59). Schématiquement, les deux CSCs latéraux droit et gauche sont dans un même plan, faisant avec le plan de Francfort un angle de 30° ouvert en avant. Ainsi, ils reviennent dans un plan parfaitement horizontal lorsqu'à la marche, le regard se porte sur le sol à quelques mètres devant soi. Ils déterminent le plan physiologique de la tête, ou plan orthovestibulaire. Les autres canaux dits verticaux (antérieur et postérieur) sont dans des plans perpendiculaires au précédent. De façon grossière, on peut considérer que chaque canal antérieur est situé dans le même plan que le canal postérieur du côté opposé (figure 60). Ils sont donc stimulés simultanément lorsque la bascule de la tête se fait dans leur plan : c'est-à-dire bascule du corps en arrière, la tête étant tournée de 45° soit à droite, soit à gauche (manœuvre de Dix et Hallpike).

- un CSC **antérieur**, il mesure 16mm de longueur, il est planté verticalement sur le vestibule dans un plan perpendiculaire à l'axe du rocher, la convexité de ce canal s'oriente selon un axe faisant 60° avec l'axe du MAI;
- un CSC **postérieur**, c'est le plus long des canaux 20mm, et aussi le plus profond, son plan est vertical et presque parallèle au grand axe du rocher. Son ampoule répond latéralement au sinus tympani de l'OM.
- un CSC **latéral**, c'est le plus court 15mm son plan est horizontal, convexe en arrière et en dehors (figure 61).

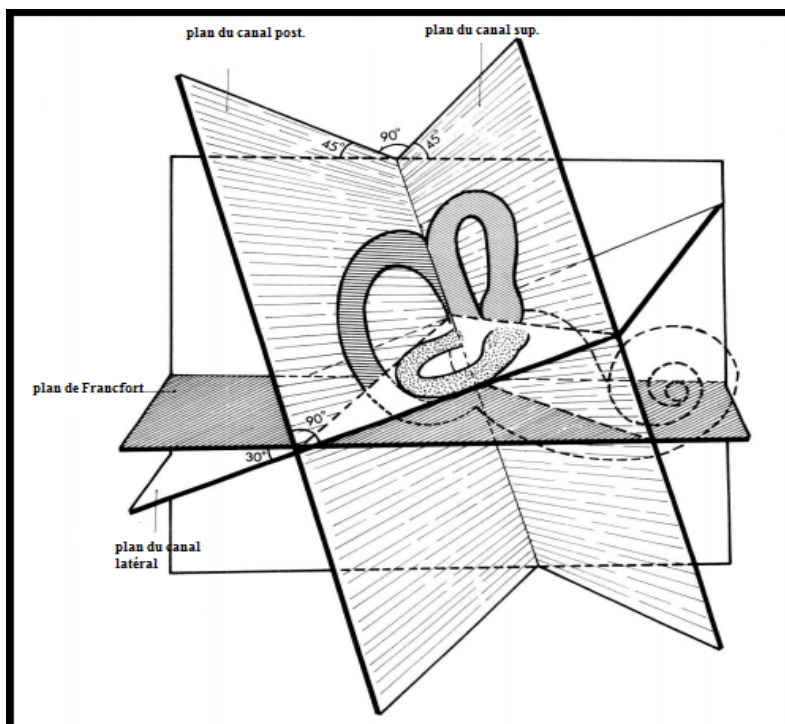


Figure 59. L'orientation des canaux semi-circulaires dans l'espace. [9]

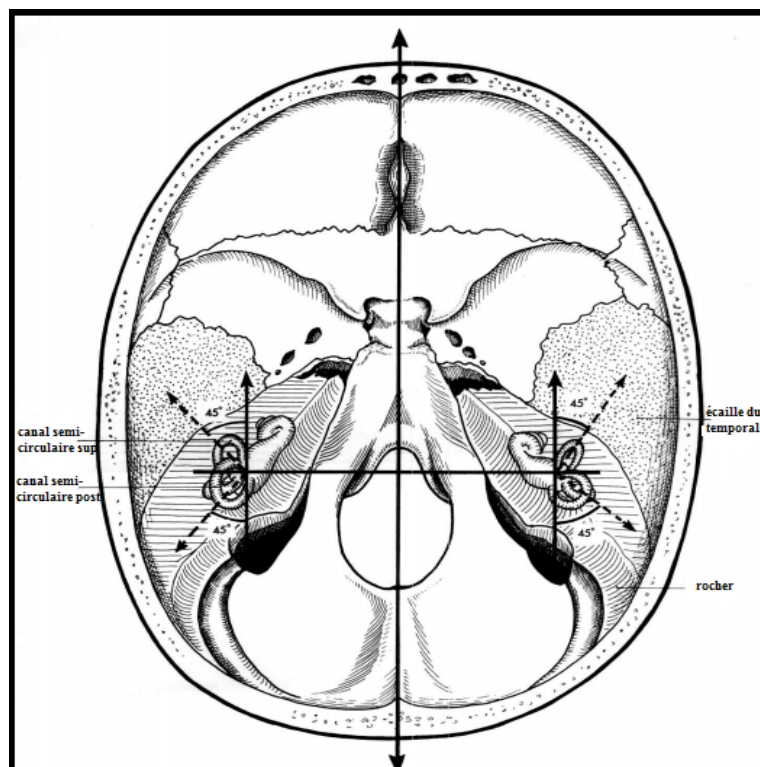


Figure 60. L'orientation des canaux semi-circulaires verticaux. [9]

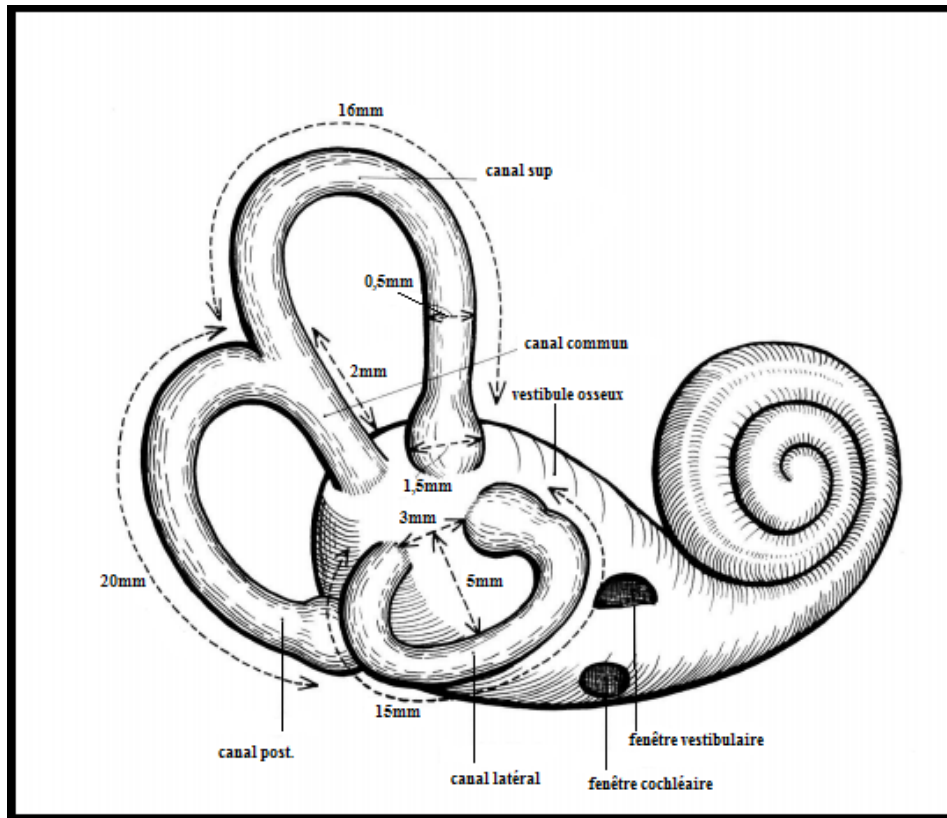


Figure 61. Description et dimensions des canaux semi-circulaires. [9]

1.3- Le limaçon : cochlée :

La cochlée osseuse (figures 62, 67) est située juste en avant du vestibule. Sa forme extérieure ressemble à une coquille d'escargot, d'où son nom : le limaçon. En fait, c'est un tube osseux ou tube limacéen (figure 64), long de 30 mm et de 1 à 2 mm de diamètre. Il est enroulé autour d'un axe appelé columelle ou modiolus (figure 63). Le tube limacéen comprend deux tours et demi d'hélice. Chaque tour de spire s'accroche au précédent pour constituer la cloison spirale, dense mais fine, qui se termine au sommet par un bord libre : le pilier. Le mur externe apparent du tube constitue la lame des contours (figure 65). La hauteur de la cochlée ne dépasse pas 5 à 6 mm et son diamètre à la base est de 9 mm.

La nomenclature dans la cochlée se fait par rapport au modiolus qui est supposé debout (figure 66). Ainsi, les spires sont basales et apicales et se terminent par le sommet ou dôme. Tout ce qui est près du modiolus est dit interne et tout ce qui s'en éloigne est dit externe.

En fait, le modiulus est un cône couché dont l'axe presque horizontal est oblique en avant et latéralement. Son sommet est en rapport avec le protympanum et sa base excavée constitue la fossette cochléaire occupant la partie antéro-inférieure du fond du MAI. Cette fossette est occupée par une série d'orifices disposés dans une double spirale correspondant à la projection de l'hélice limacéenne (crible spiroïde). Après un tour et demi, le crible se termine en son sommet par un orifice un peu plus large d'où naît le canal central de la columelle.

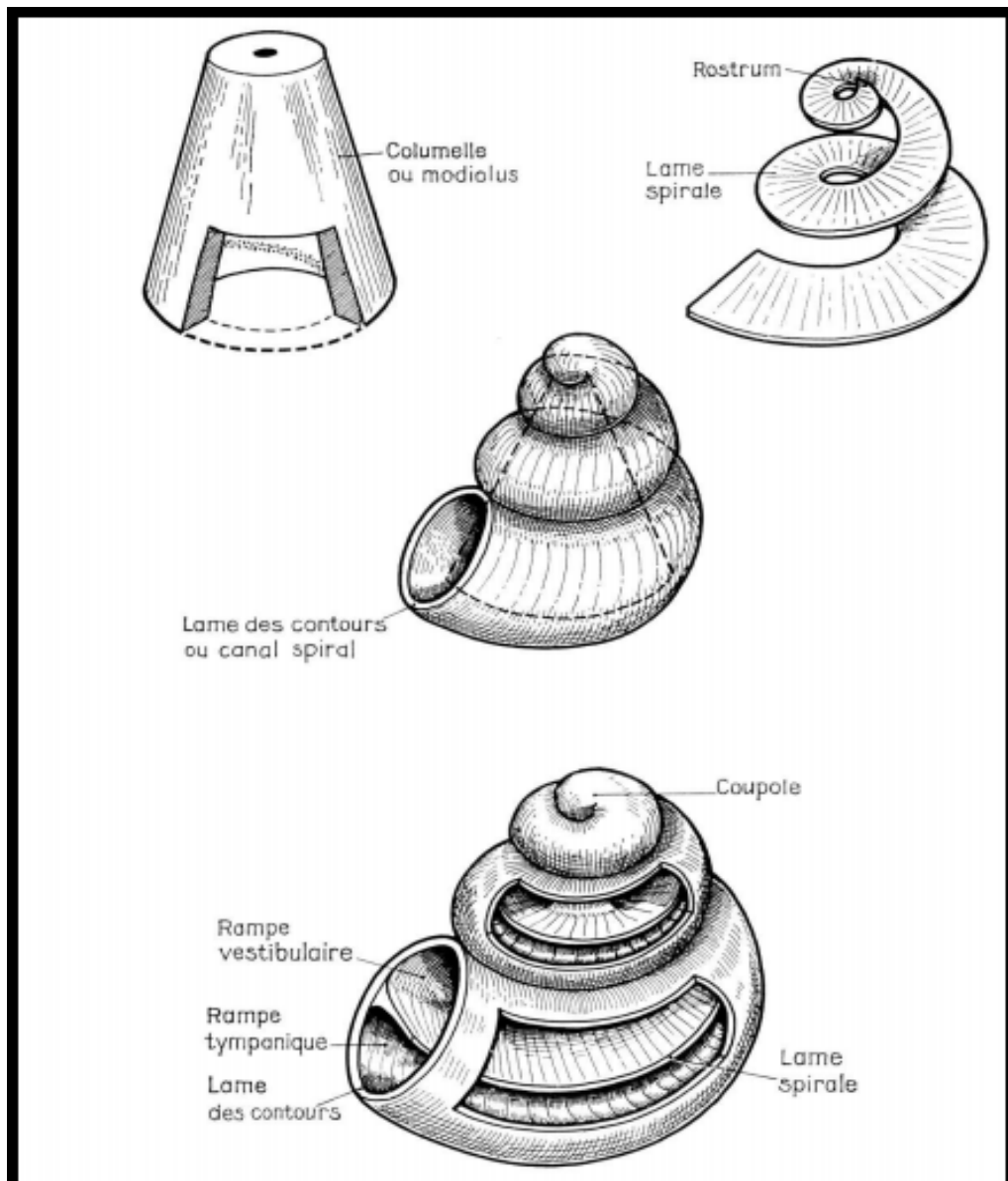


Figure 62. La constitution du limaçon [9].

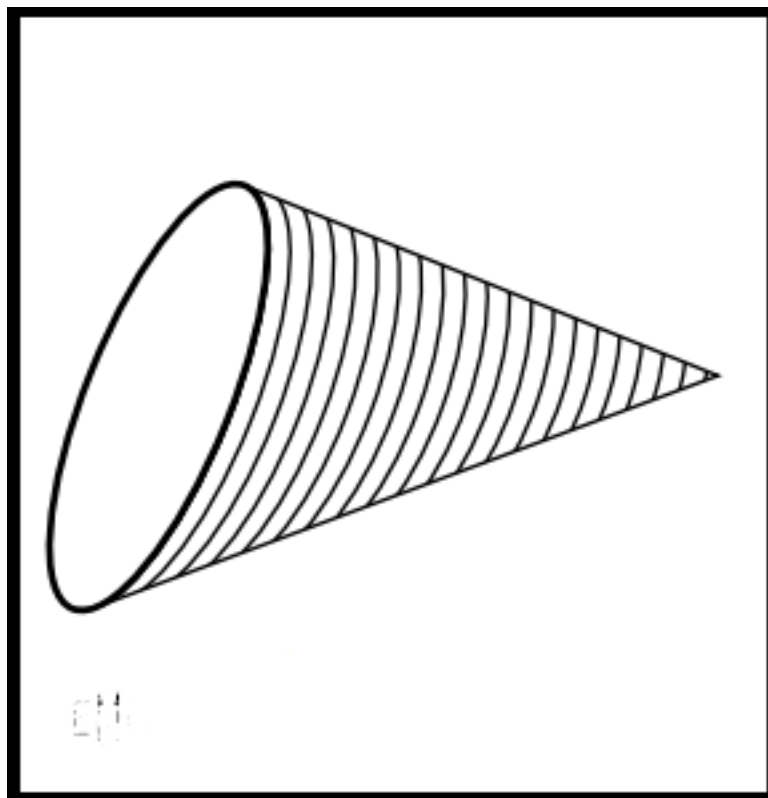


Figure 63. La columelle ou modiolus [40].

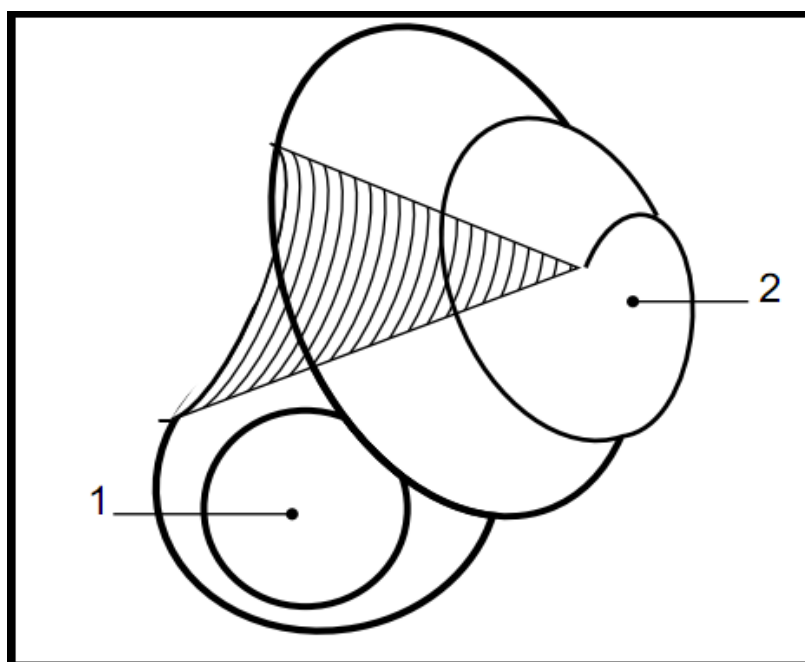


Figure 64. Configuration du tube limacéen osseux. [40]

1. Tube limacéen ; 2. Coupole.

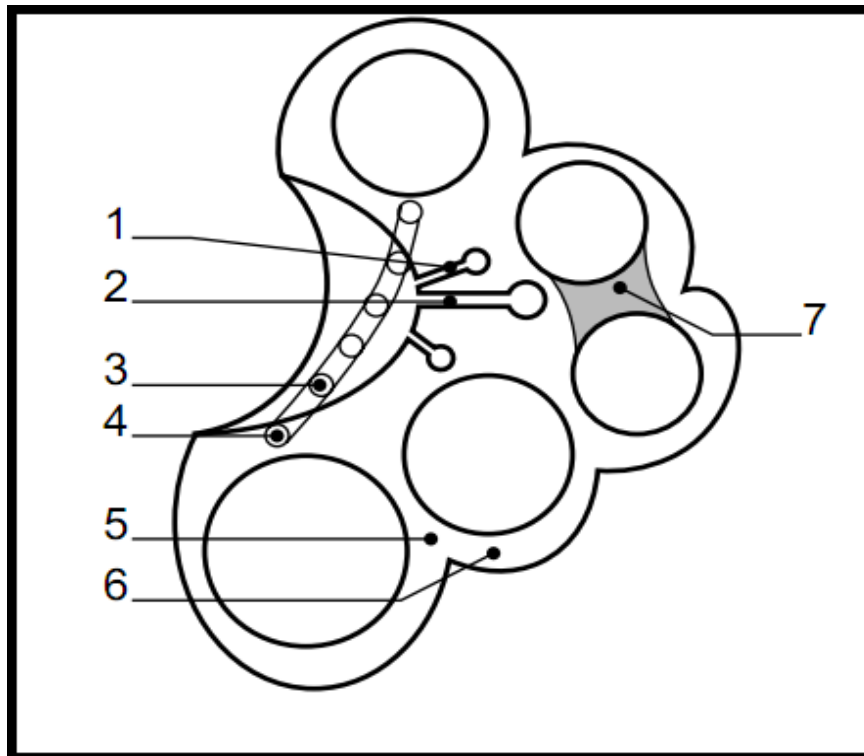


Figure 65. Configuration de la lame des contours et des canaux du modiulus. [40]

1. Canaux longitudinaux de la columelle ; 2. Canal central de la columelle ; 3. Crible spiroïda ; 4. Canal spiral de Rosenthal ; 5. Cloison spirale ; 6. Lame des contours ; 7. Pilier.

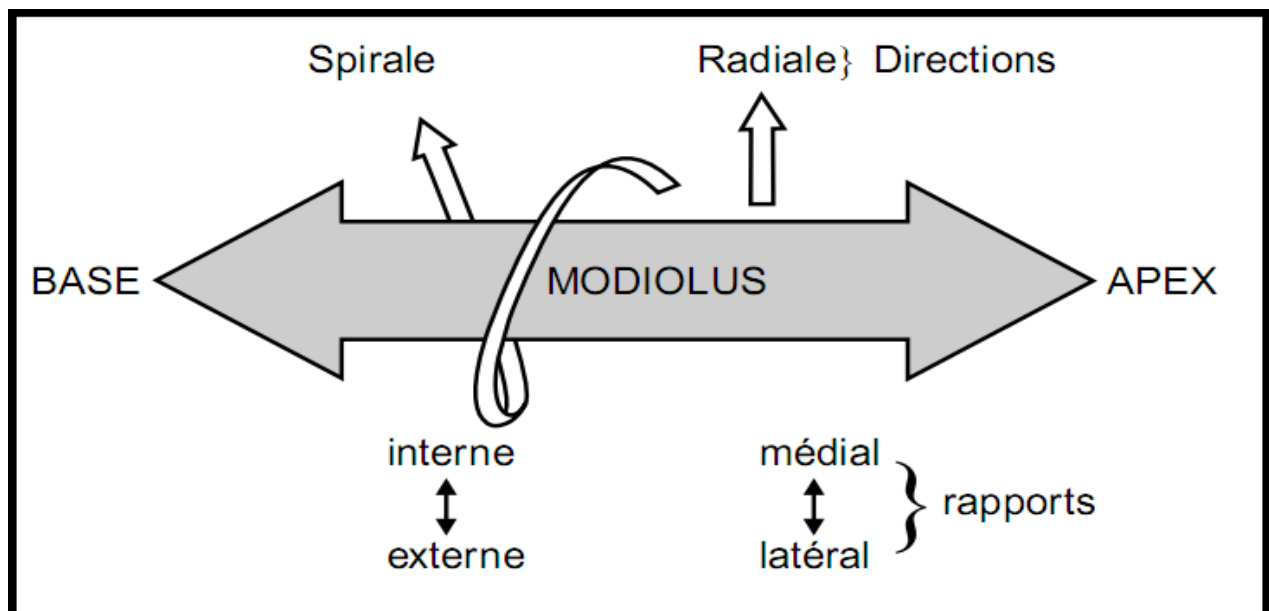


Figure 66. La nomenclature des rapports au sein de la cochlée. [40]

a. Le tube limacéen :

Il comprend deux segments : le segment non enroulé et le segment enroulé.

- Le segment initial non enroulé est rectiligne, Long de 4 à 5 mm, il est placé sous le vestibule où il forme la cavité sous-vestibulaire. Celle-ci se termine en arrière par un cul-de-sac au fond duquel s'ouvre la fenêtre cochléaire. La cavité sous-vestibulaire représente l'extrémité de la rampe tympanique de la cochlée. Sur sa face médiale, près de la membrane de la fenêtre cochléaire, s'ouvre le bord de l'aqueduc du limaçon.
- Le segment enroulé continue le précédent par un premier tour (spire basale) qui s'engage sous le MAI en formant la saillie du promontoire sur la face interne de la caisse du tympan. Puis il passe en avant du MAI, puis au-dessus et se termine à 1,5 mm en avant et en dedans de la commissure antérieure de la fenêtre vestibulaire séparé du vestibule par la première portion du nerf facial. Le deuxième tour se place en avant du premier et le troisième tour, incomplet (un demi-tour), se termine par la coupole.

b. La lame spirale :

C'est une lame osseuse détachée de la columelle (figures 67-69). Elle fait saillie dans le tube du limaçon sans le cloisonner complètement. À l'état frais, elle est complétée par la membrane basilaire s'insérant sur le bord libre de la lame spirale. Ainsi sont séparées deux rampes : la rampe vestibulaire placée vers l'apex et la rampe tympanique placée vers la base.

Au niveau du pilier, la lame spirale se termine par un bord libre en forme de crochet (hamulus lamina spiralis). Ce bord libre forme avec la voûte de la coupole un passage, l'hélicotréma, qui fait communiquer la rampe tympanique et la rampe vestibulaire.

Dans la portion non enroulée, la lame spirale se recourbe d'abord en haut, puis en arrière pour former les trois quarts médiaux de la face inférieure du vestibule et s'insérer en arrière sur la crête ampullaire inférieure.

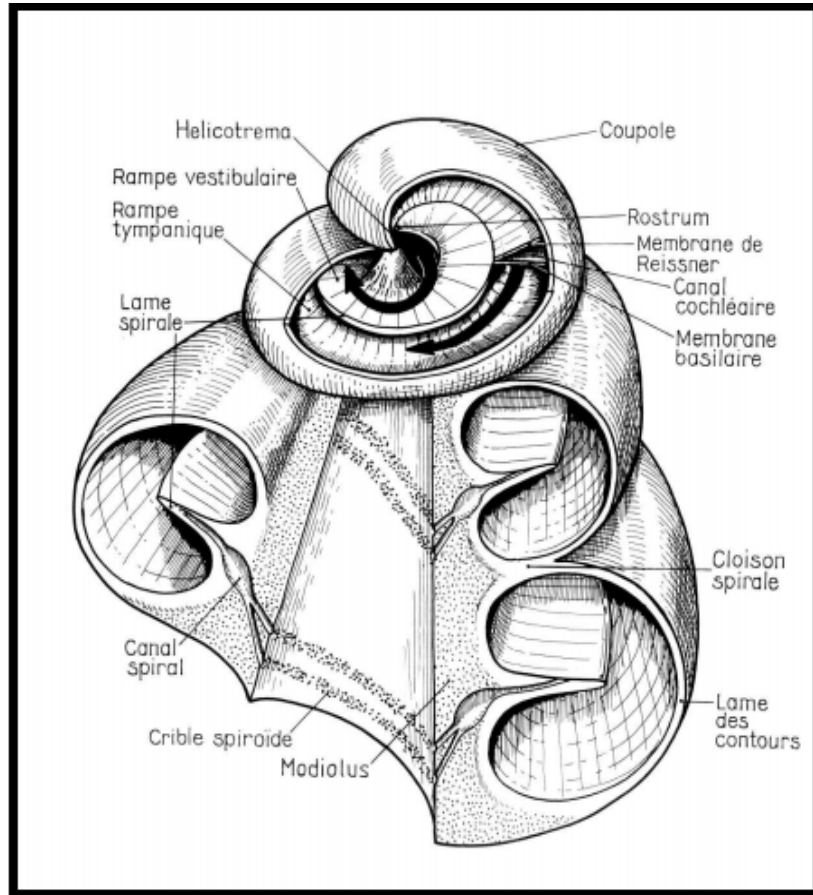


Figure 67. Vue du limaçon supposé vertical. [9]

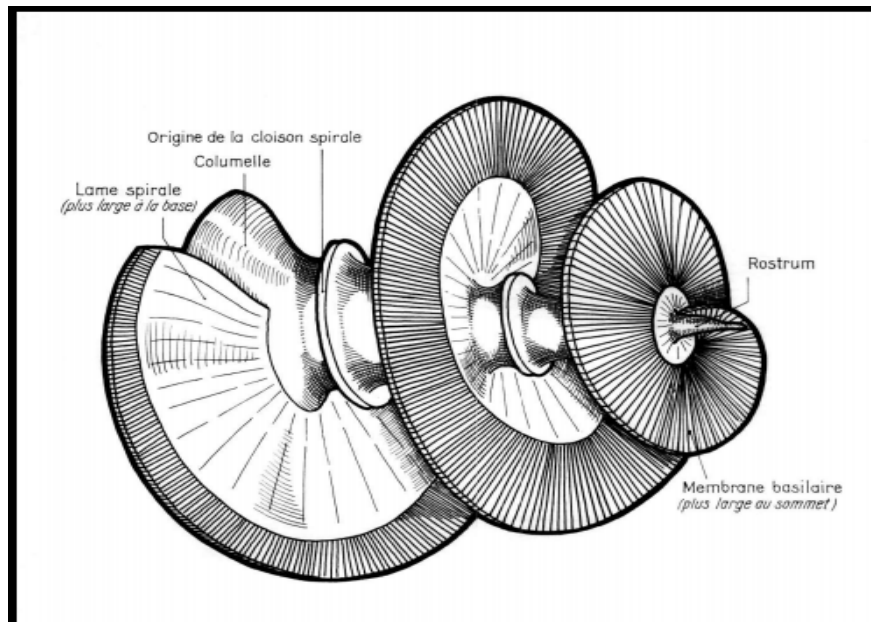


Figure 68. Configuration de la lame spirale et la membrane basilaire. [9]

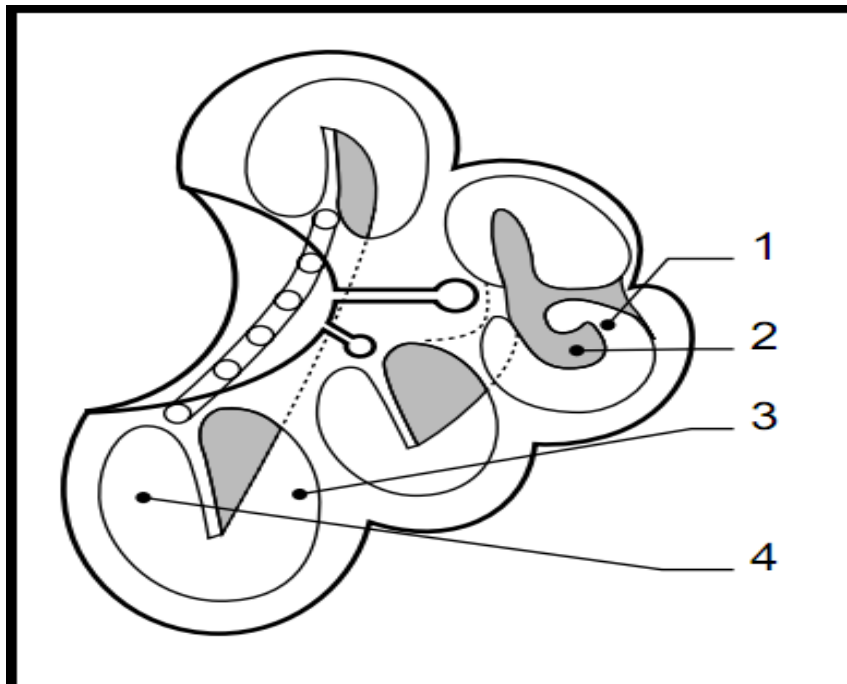


Figure 69. Configuration des rampes intracochléaires. [40]

1. Hélicotréma ; 2. Crochet (hamulus lamina spiralis) ; 3. Rampe vestibulaire ; 4. Rampe tympanique.

1.4- L'aqueduc vestibulaire :

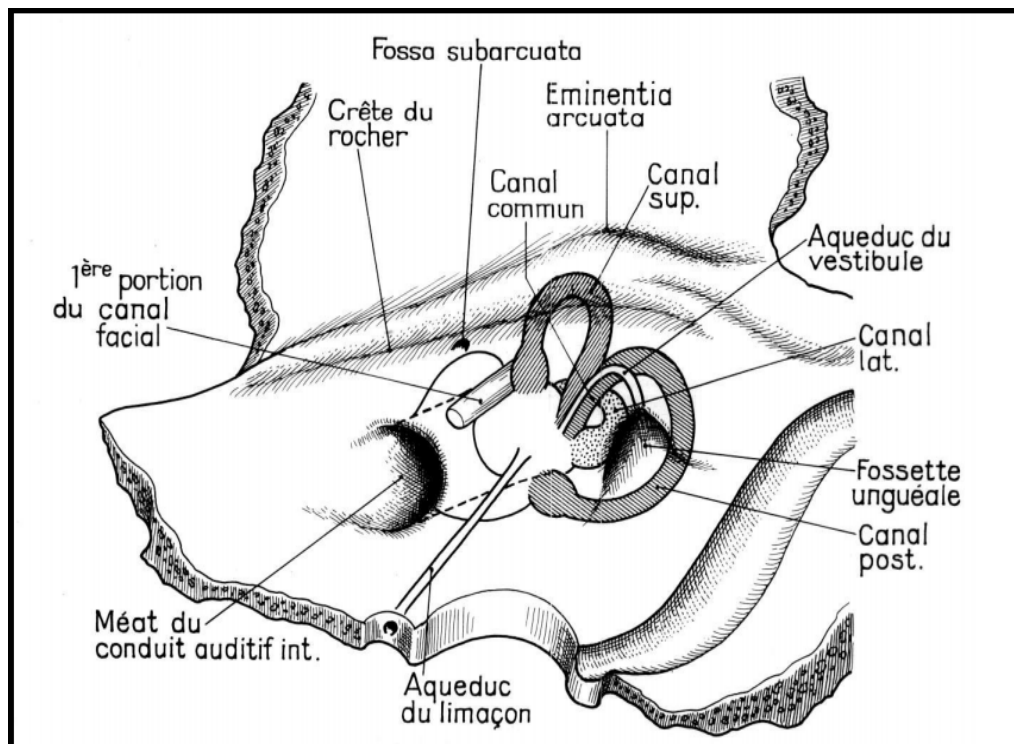
Ce canal (figures 70, 71) s'étend du vestibule à la face postérieure du rocher. Son trajet intrapétreux, long de 8 mm, se divise en deux parties :

- d'abord ascendant, il s'élève en formant un isthme long de 1,5 mm ;
- puis sa partie distale se porte franchement en arrière, vers le sinus sigmoïde, pour s'ouvrir à la face postérieure de la pyramide pétreuse au niveau de la fossette unguéale. Cette fossette n'est le plus souvent qu'une fente. L'orifice de l'aqueduc est situé à 1 cm en arrière du porus du MAI, à égale distance entre celui-ci et le sinus sigmoïde. Il contient le sac endolymphatique.

1.5- L'aqueduc du limaçon :

Son orifice est situé sur la paroi médiale de la portion non enroulée du limaçon à 1 mm en avant de la fenêtre cochléaire. Son canal, long de 10 à 13 mm, se dirige en arrière, en dedans et en bas, chemine sous l'ampoule du canal postérieur, puis parallèlement au bord inférieur du

MAI. Il se termine à la face inférieure de la pyramide pétreuse par un orifice évasé de 4 mm situé au sommet d'une dépression triangulaire placée entre la fosse jugulaire en arrière et le canal carotidien en avant. Il est annexé au système périlymphatique, le faisant communiquer avec l'espace sous-arachnoïdien chez certaines espèces [42]. Chez l'homme, il serait obturé par du tissu fibreux. Sa perméabilité anormale expliquerait que certaines oto - ou rhinoliqorrhées cérébrospinales puissent survenir après une fracture de la paroi latérale du vestibule ou après stapéctomie.



**Figure 70. Configuration des aqueducs du vestibule et du limaçon
(Rapports des CSC avec le rocher). [9]**

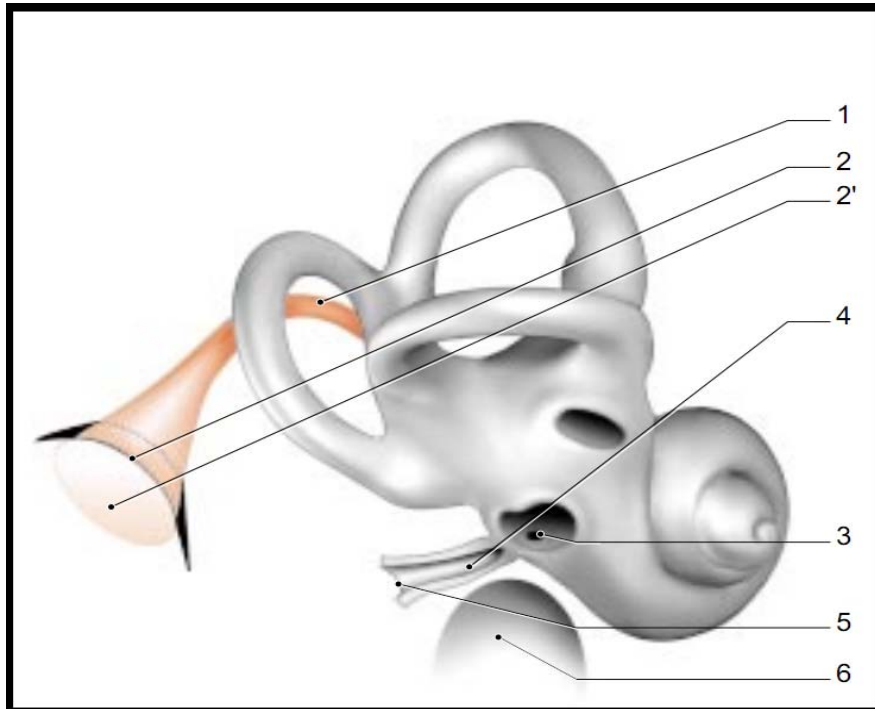


Figure 71. Configuration postéro-inférieure du labyrinthe osseux : aqueduc du limaçon et canal et sac endolymphatique (côté droit). [40]

1. Canal endolymphatique ; 2. Fossette unguéale ; 2'. Sac endolymphatique ; 3. Orifice de l'aqueduc du limaçon à la face médiale de la cavité sous-vestibulaire ; 4. Aqueduc du limaçon ; 5. Orifice inférieur de l'aqueduc du limaçon ; 6. Fosse jugulaire.

2. Le labyrinthe membraneux :

Il est constitué de l'agencement complexe d'un long tube d'origine épithéliale. Il comporte (figures 72-75) :

- le labyrinthe antérieur, destiné à l'audition, comprenant le canal cochléaire ;
- le labyrinthe postérieur, destiné à l'équilibration, comprenant l'utricule, le saccule, les canaux semi-circulaires(CSCs) et le système endolymphatique.

Le labyrinthe membraneux contient l'endolymphe. Entre le labyrinthe membraneux et le labyrinthe osseux, se situe un deuxième compartiment liquidien : la périlymphe.

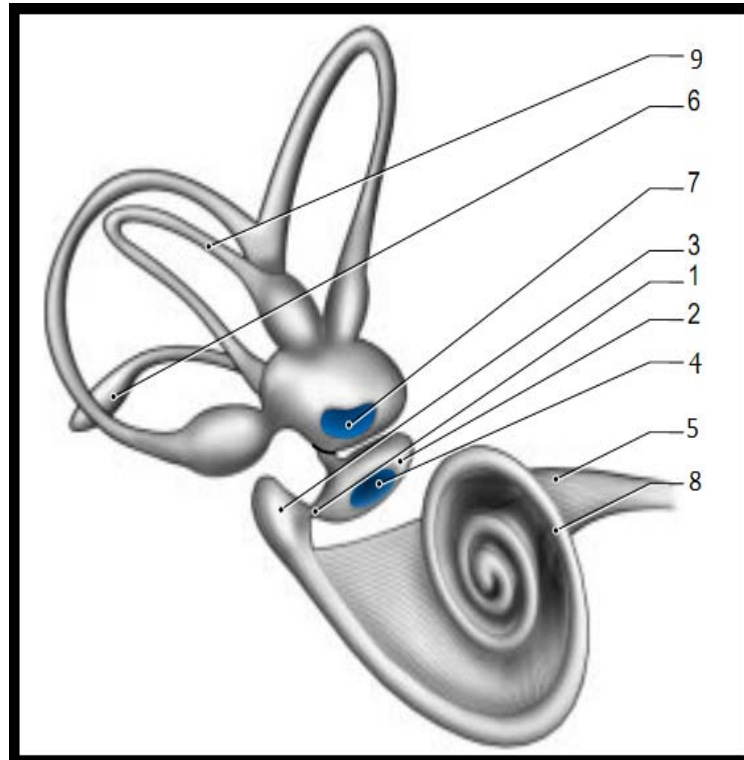


Figure 72. Configuration antérieure du labyrinthe membraneux. [40]

1. Ductus reuniens ; 2. Saccule ; 3. Cæcum cochléaire ; 4. Macule du saccule ; 5. Nerf cochléaire ; 6. Sac endolymphatique ; 7. Utricule et sa macule (en bleu sur le schéma) ; 8. Canal cochléaire ; 9. CSC latéral.

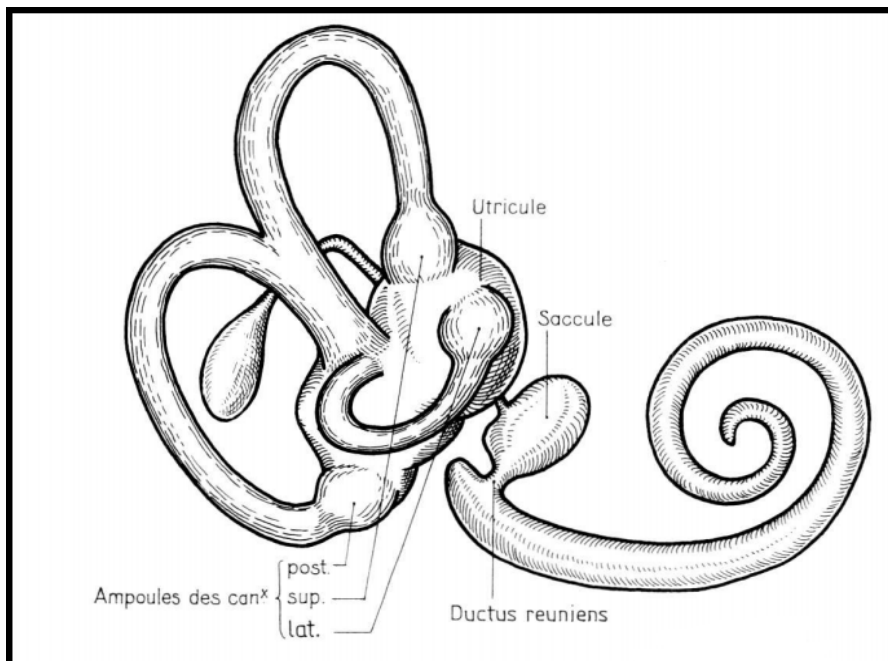


Figure 73. Configuration antérieure de l'ensemble du labyrinthe membraneux. [9]

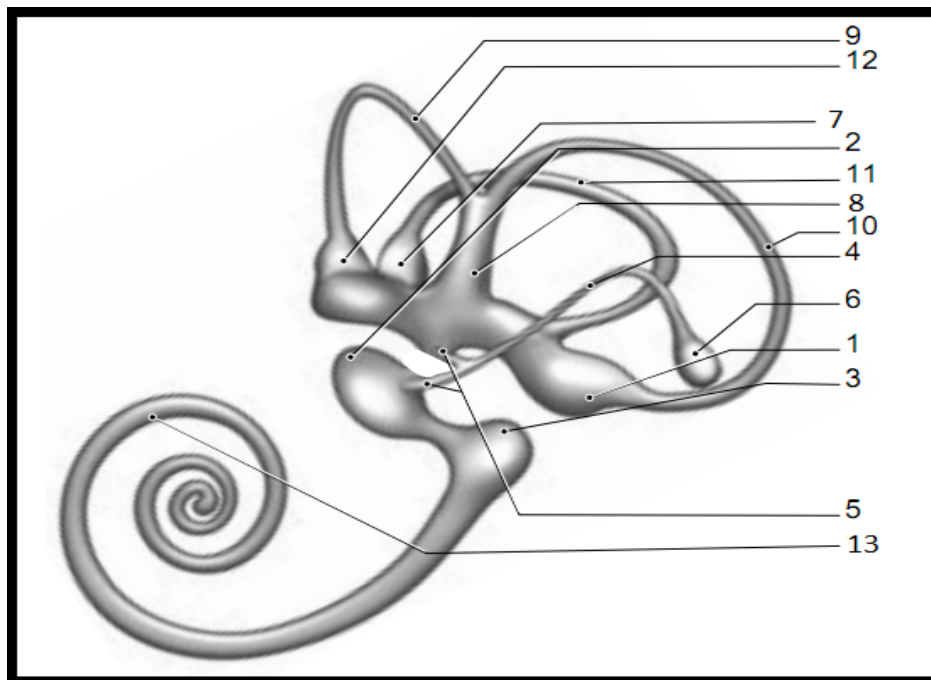


Figure 74. Vue postérieure du labyrinthe membraneux. [40]

1. Ampoule du CSC postérieur ; 2. Saccule ; 3. Cæcum cochléaire ; 4. Canal endolymphatique ; 5. Branches utriculaire et sacculaire du canal endolymphatique ; 6. Sac endolymphatique ; 7. Ampoule du CSC latéral ; 8. Crus commune; 9. CSC antérieur ; 10. CSC postérieur ; 11. CSC latéral ; 12. Ampoule du CSC antérieur ; 13. Canal cochléaire.

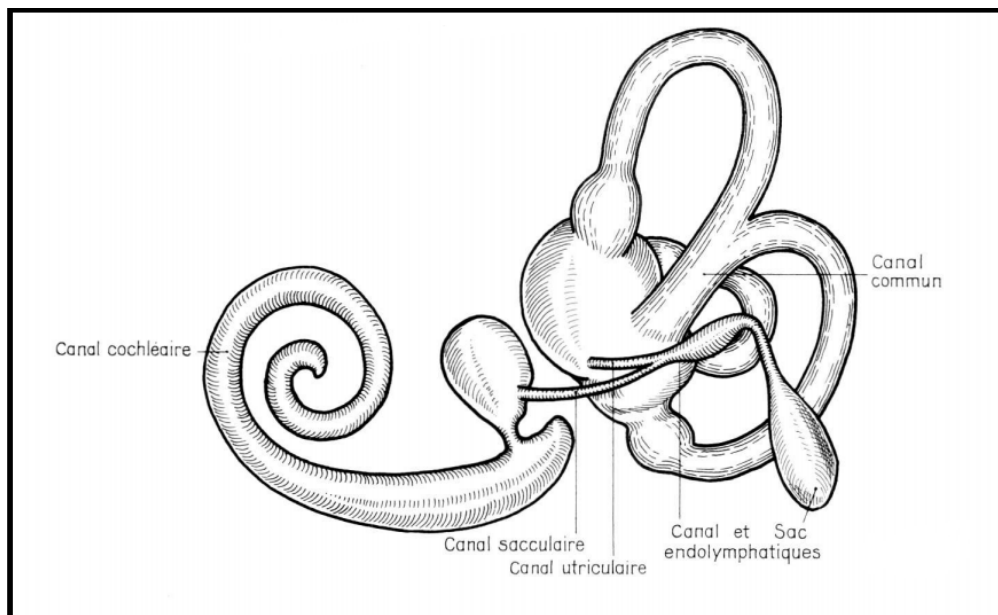


Figure 75. Configuration postérieure de l'ensemble du labyrinthe membraneux. [9]

2.1- Le labyrinthe membraneux antérieur : Le canal cochléaire :

C'est un tube long de 30 mm qui comporte deux segments :

- Le premier est court et se termine en arrière par un cul-de-sac logé au niveau de la fossette cochléaire. Sa face inférieure isole le vestibule de la cavité sous-vestibulaire en fermant la fente vestibulo-tympanique. De sa face supérieure naît le ductus reuniens de Hensen qui fait communiquer le canal cochléaire avec le saccule;
- le deuxième segment continue le précédent en avant. Il est long et s'enroule dans le limaçon osseux en comblant l'espace compris entre le bord libre de la lame spirale et la partie correspondante de la lame des contours. En coupe, il est prismatique et comporte trois faces : supérieure, externe et inférieure (figures 75-78) :
 - ✓ La paroi supérieure ou vestibulaire : Elle est encore appelée membrane de Reissner et sépare le canal cochléaire de la rampe vestibulaire.
 - ✓ La paroi externe : Elle est formée par le ligament spiral. Celui-ci représente une zone d'adhérence entre le canal cochléaire et l'endoste du limaçon. À ce niveau existe une tramefibreuse conjonctive constituant une véritable éponge imprégnée de périlymphe. De haut en bas, la face interne du ligament spiral est marquée par quatre reliefs :
 - * la crête où s'insère la membrane de Reissner ;
 - * la strie vasculaire, c'est le lieu principal supposé de la sécrétion d'endolymphe ;
 - * le bourrelet spiral soulevé par un canal veineux ;
 - * la crête basilaire où s'insère la membrane basilaire.
 - ✓ La paroi inférieure : Elle sépare le canal cochléaire de la rampe tympanique. Elle est constituée par la membrane basilaire tendue entre la lame spirale osseuse et la crête basilaire du ligament spiral. Ainsi, la membrane basilaire, longue de 33 mm, parcourt toute la cochlée en augmentant progressivement de largeur depuis la base jusqu'à l'apex. Sur la membrane basilaire se pose l'organe de Corti, recouvert par la membrane de Corti.

❖ **L'organe de Corti :**

C'est l'élément sensoriel où sont situés les récepteurs de l'audition (figures 79-82). Il repose sur la membrane basilaire entre deux sillons : le sillon spiral interne et le sillon spiral externe. Il comporte plusieurs systèmes de cellules et structures (figures 83, 84).

* Les cellules sensorielles :

- Trois rangées de cellules ciliées externes surmontées par des stéréocils disposés comme des tuyaux d'orgue et rangés selon un W ouvert vers le modiolus. Ces cellules auraient des propriétés contractiles.
- Une seule rangée de cellules ciliées internes.

* Les cellules de soutien :

Elles supportent les cellules sensorielles. Des cellules de soutien entourent complètement les cellules ciliées internes.

- Les cellules de Deiters reposent sur la membrane basilaire. Leur pôle supérieur déprimé en cupule reçoit et ancre solidement la base des cellules ciliées externes. Leur apex émet un prolongement (phalange) dont l'extrémité supérieure s'élargit en plateau et comble les espaces en «haltère » séparant les cellules ciliées.
- Les cellules de Hensen sont placées en dehors des cellules de Deiters et tapissent la lèvre interne du sillon spiral externe.

Les piliers forment deux rangées de cellules qui s'écartent à leur base et se rejoignent à leur sommet en délimitant le tunnel de Corti contenant la cortilymphe.

Enfin, l'ensemble des pôles supérieurs des cellules ciliées externes, des phalanges des cellules de Deiters et des apex élargis en plateau des piliers, toutes cellules reliées par des jonctions serrées, forment la membrane réticulaire. Cette membrane isole le compartiment endolymphatique du canal cochléaire du compartiment périlymphatique. En effet, la cortilymphe contenue dans le tunnel de Corti et les espaces de Nuel est de composition peu différente de la périlymphe.

** Les fibres nerveuses :*

Elles gagnent ou quittent l'organe de Corti par l'habenula perforata au travers de la membrane basilaire [43].

** La membrane tectoriale :*

Acellulaire, elle est constituée par une couche ~~superficielle~~ fibreuse et une couche profonde gélatineuse. On peut la diviser en trois segments [44] :

- le segment interne, qui repose sur les cellules interdentes situées en dedans du sillon spiral interne. Ces cellules, qui lui donneraient naissance, reposent sur le limbus spiralis ;
- le segment moyen, le plus large, recouvre l'organe de Corti qui y détermine des reliefs linéaires : la ligne de Hensen, située au contact des cellules ciliées internes. En dehors, les trois rangées de cellules ciliées externes déterminent trois profondes lignes d'empreintes correspondantes. Il y aurait à ce niveau des points d'ancrage de la membrane tectoriale ;
- le segment externe est au contact des cellules de Deiters et des cellules de Hensen (filet marginal).

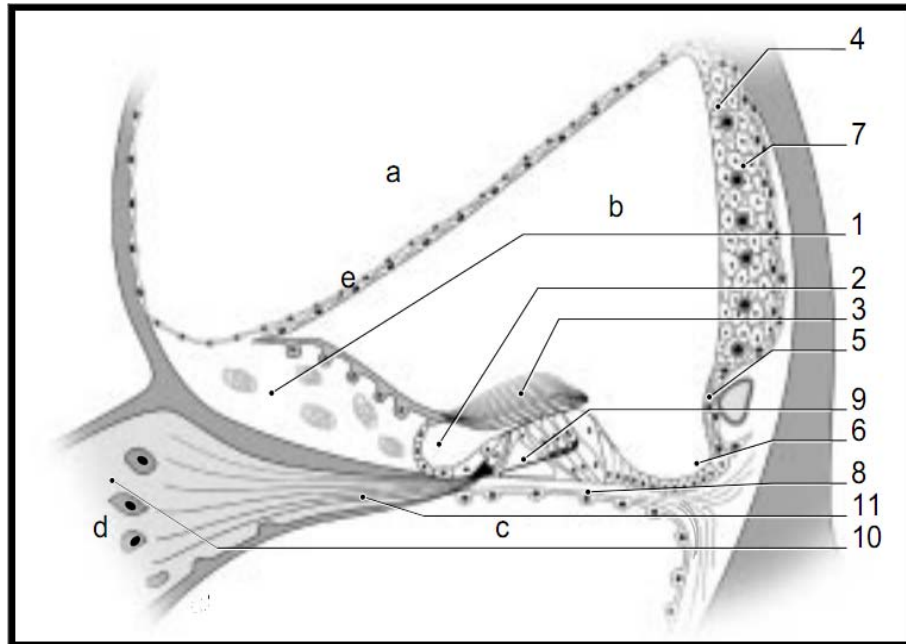


Figure 76. Canal cochléaire. [40]

a. Rampe vestibulaire ; b. Canal cochléaire (scala media) ; c. Rampe tympanique ; d. Ganglion spiral ; e. Membrane de Reissner ; 1. Limbus spiralis ; 2. Sillon spiral interne ; 3. Membrane tectoriaie ; 4. Strie vasculaire ; 5. Bourrelet spiral ; 6. Sillon spiral externe ; 7. Ligament spiral ; 8. Membrane basilaire ; 9. Tunnel de Corti ; 10. Lame spirale ; 11. Nerf cochléaire.

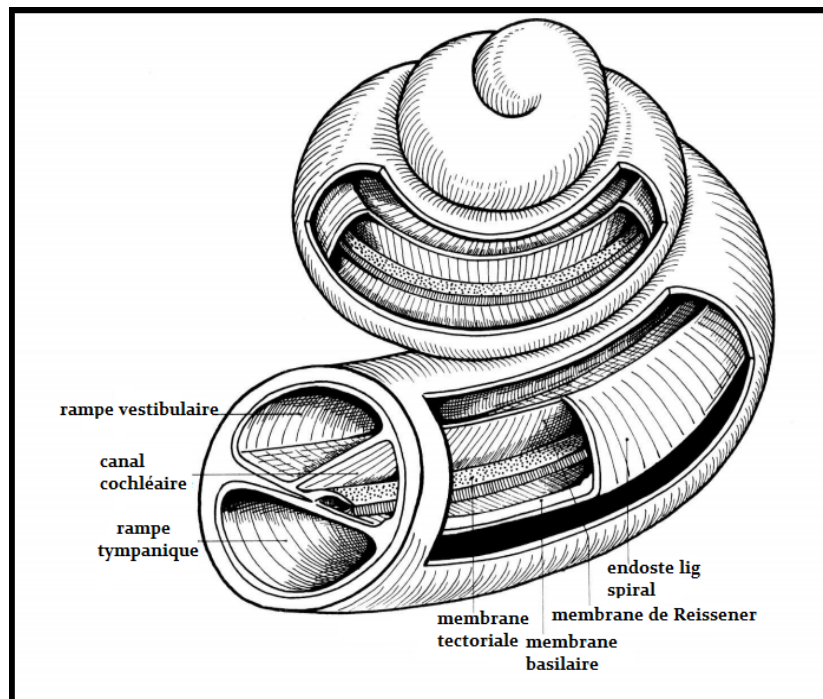


Figure 77. Situation du canal cochléaire dans le limaçon. [9]

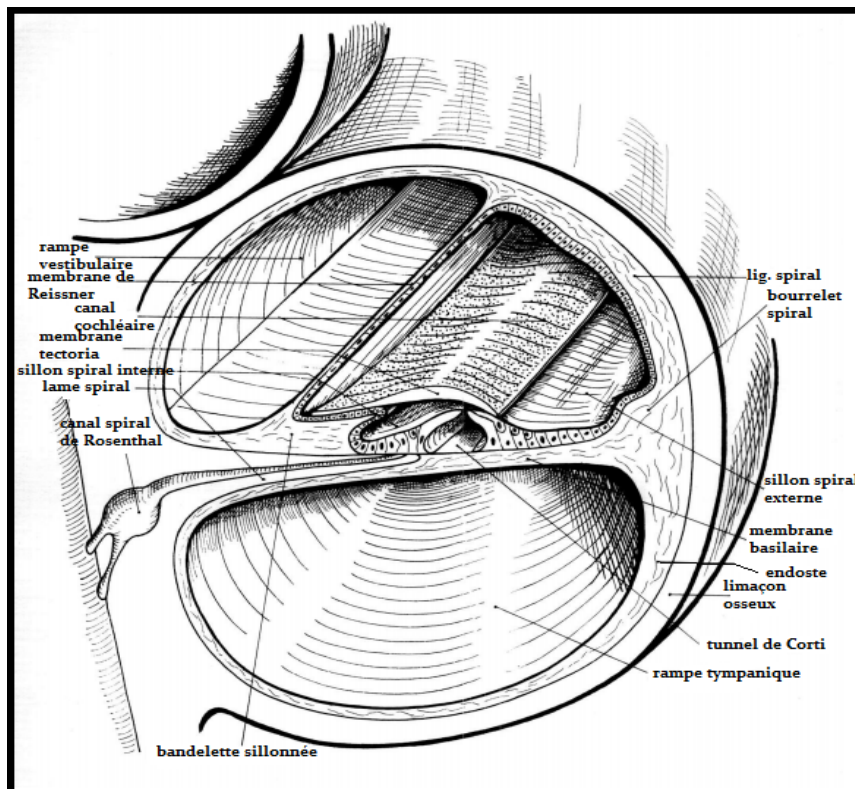


Figure 78. Configuration du canal cochléaire et de l'endoste. [9]

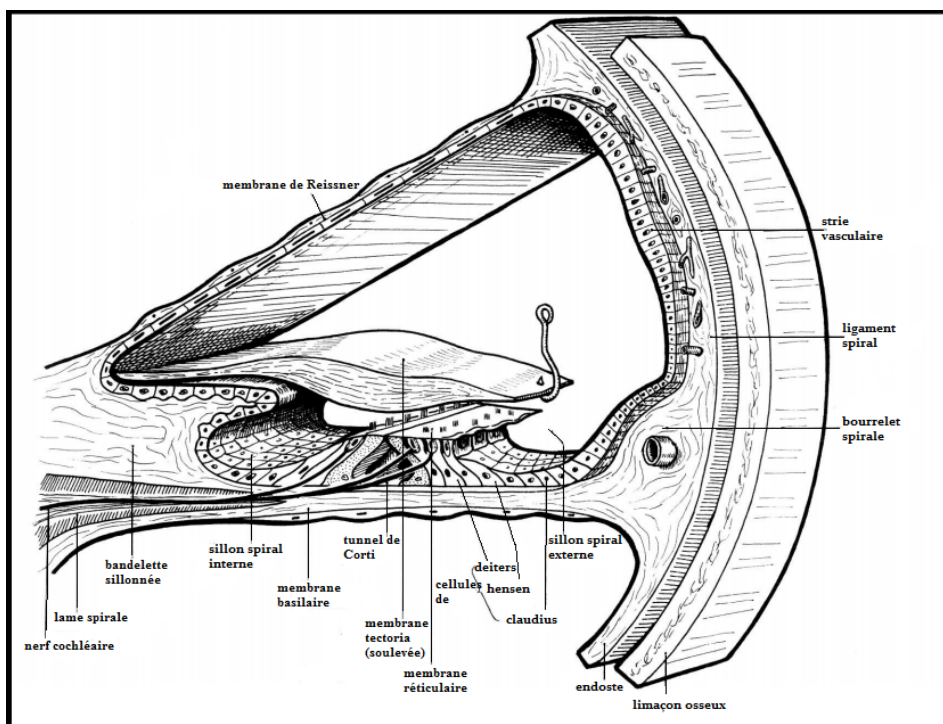


Figure 79. Configuration du canal cochléaire. [9]

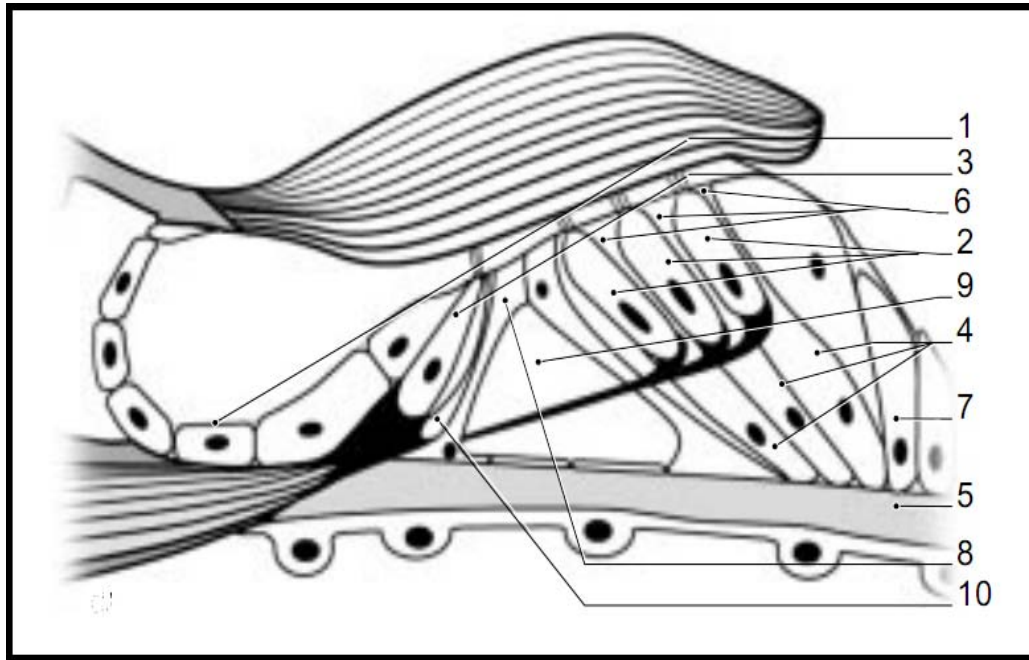


Figure 80. Organe de Corti. [40]

1. Sillon spiral interne ; 2. CCE ; 3. CCI ; 4. Cellule de Deiters ; 5. Membrane basilaire ; 6. Phalange des cellules de Deiters ; 7. Cellules de Hensen ; 8. Piliers ; 9. Tunnel de Corti ; 10. Espace de Nuel.

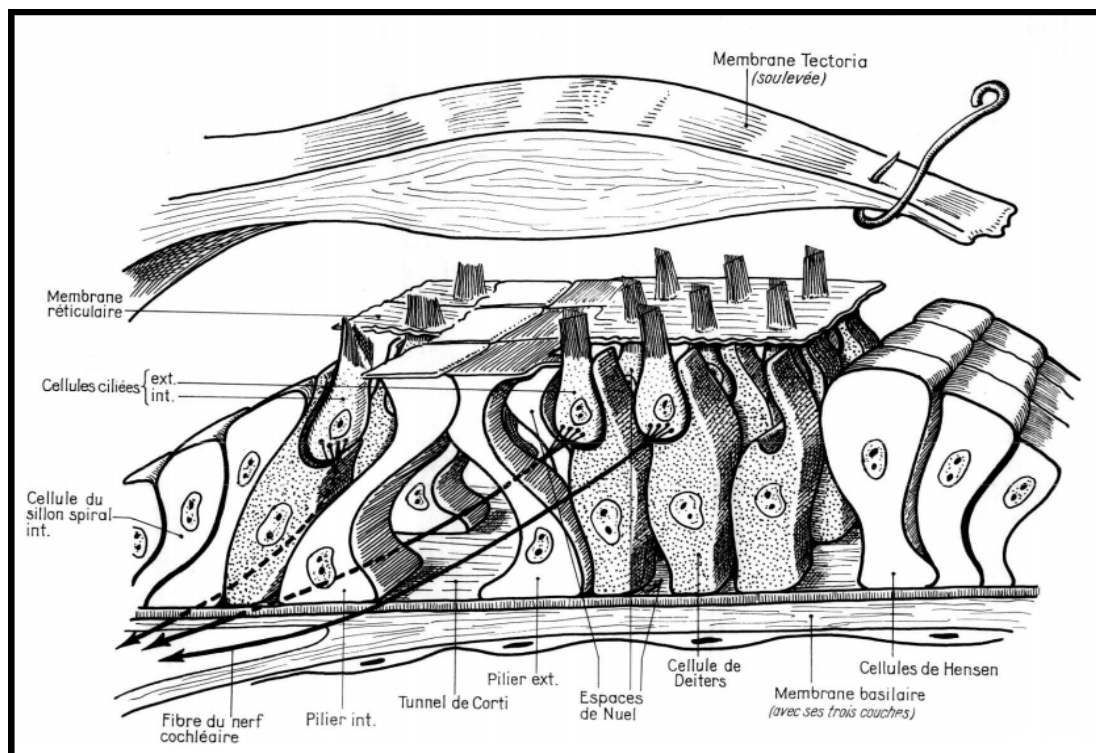


Figure 81. Configuration de l'organe de Corti. [9]

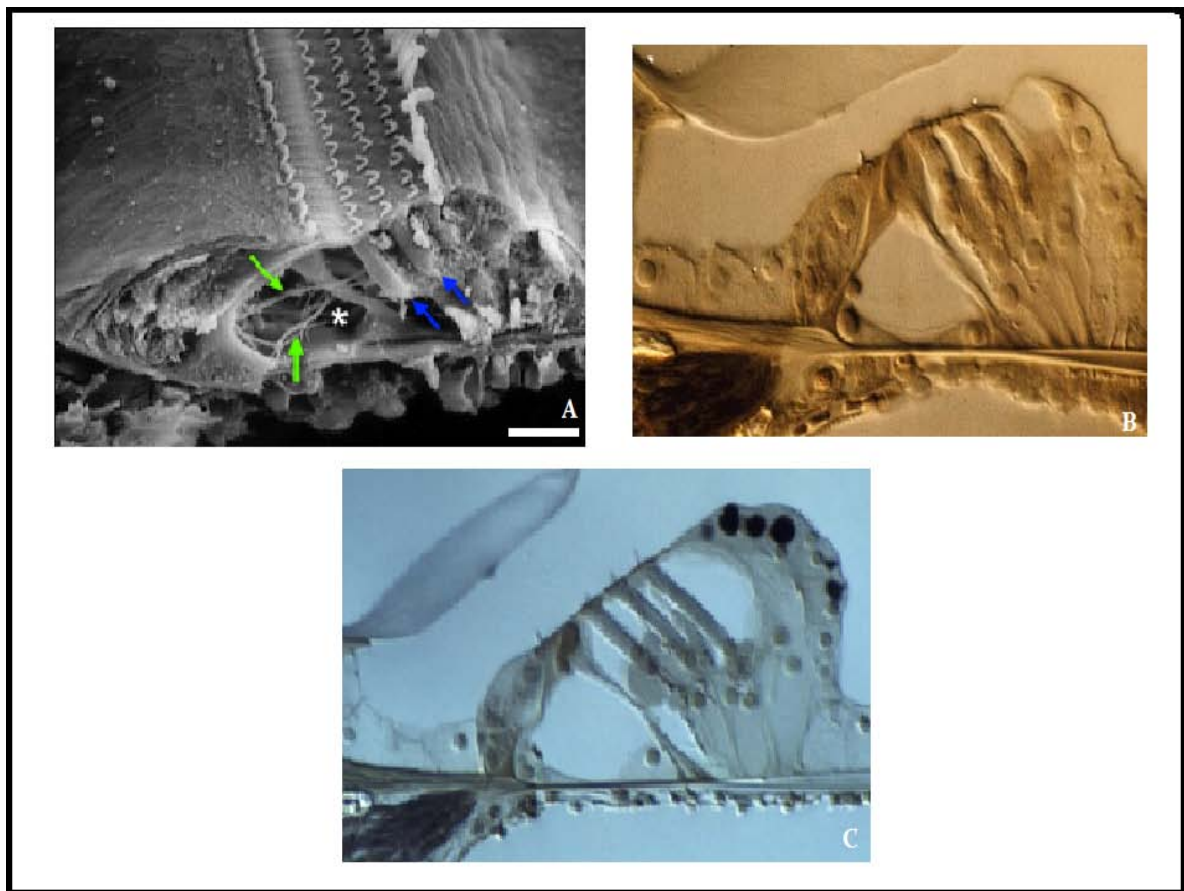


Figure 82. Vues de l'organe de Corti. [45]

A. Technique de fracture en microscopie à balayage (cobaye) de la membrane tectoriale qui a été enlevée ; il ne reste que le filet marginal (bande blanche à l'extérieur des cellules ciliées externes). La surface avec les stéréocils des cellules ciliées est visible : Les **flèches bleues** indiquent les corps cellulaires de 2 CCEs, l'astérisque le tunnel de Corti traversé par des fibres nerveuses (**flèches vertes**). Échelle : 20 μ m.

B. Sections transversales de l'organe de Corti au niveau du tour basal (technique en contraste de Nomarski).

C. Sections transversales de l'organe de Corti au niveau du troisième tour. (Technique en contraste de Nomarski).

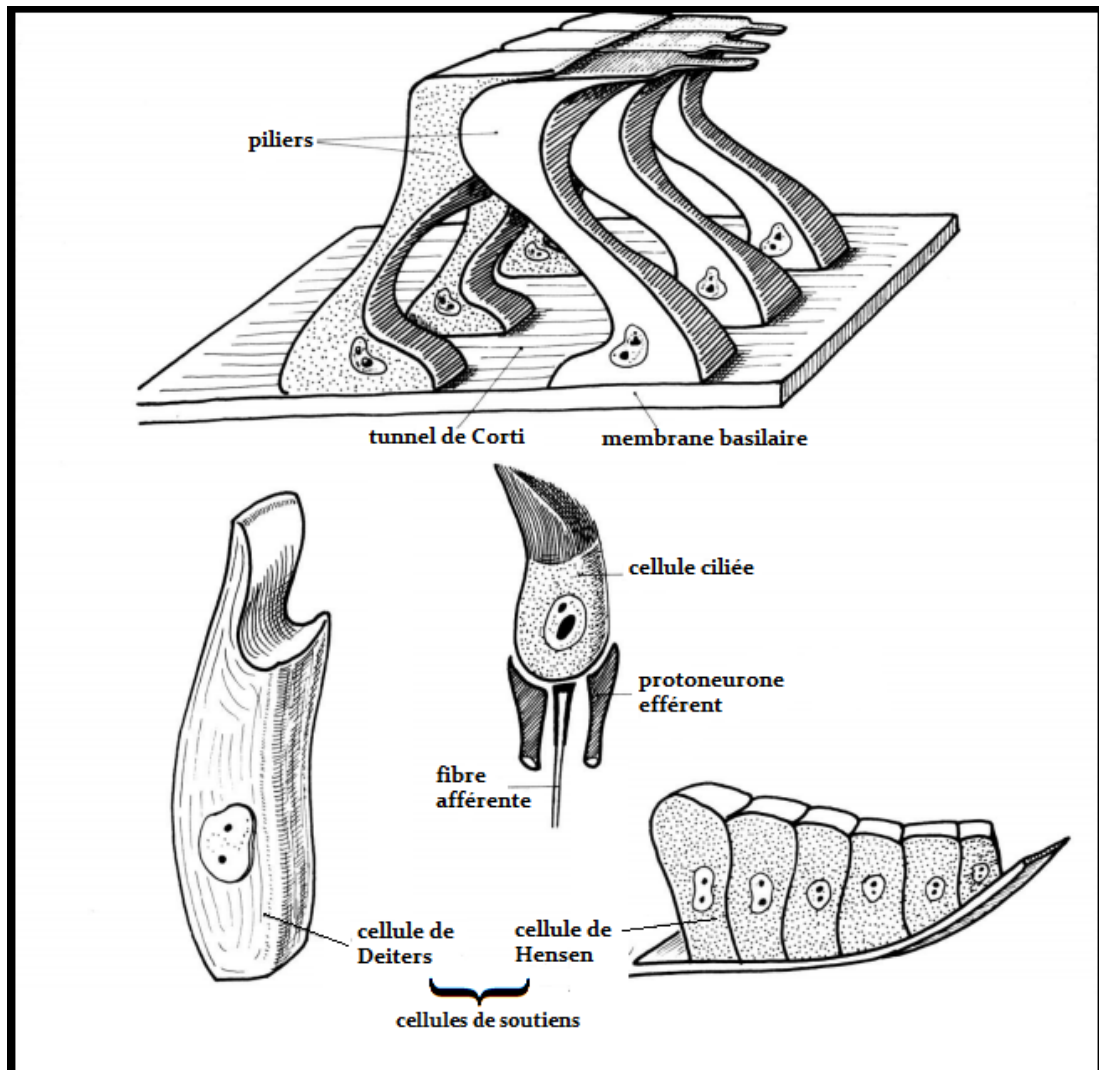


Figure 83. Les cellules de l'organe de Corti. [9]

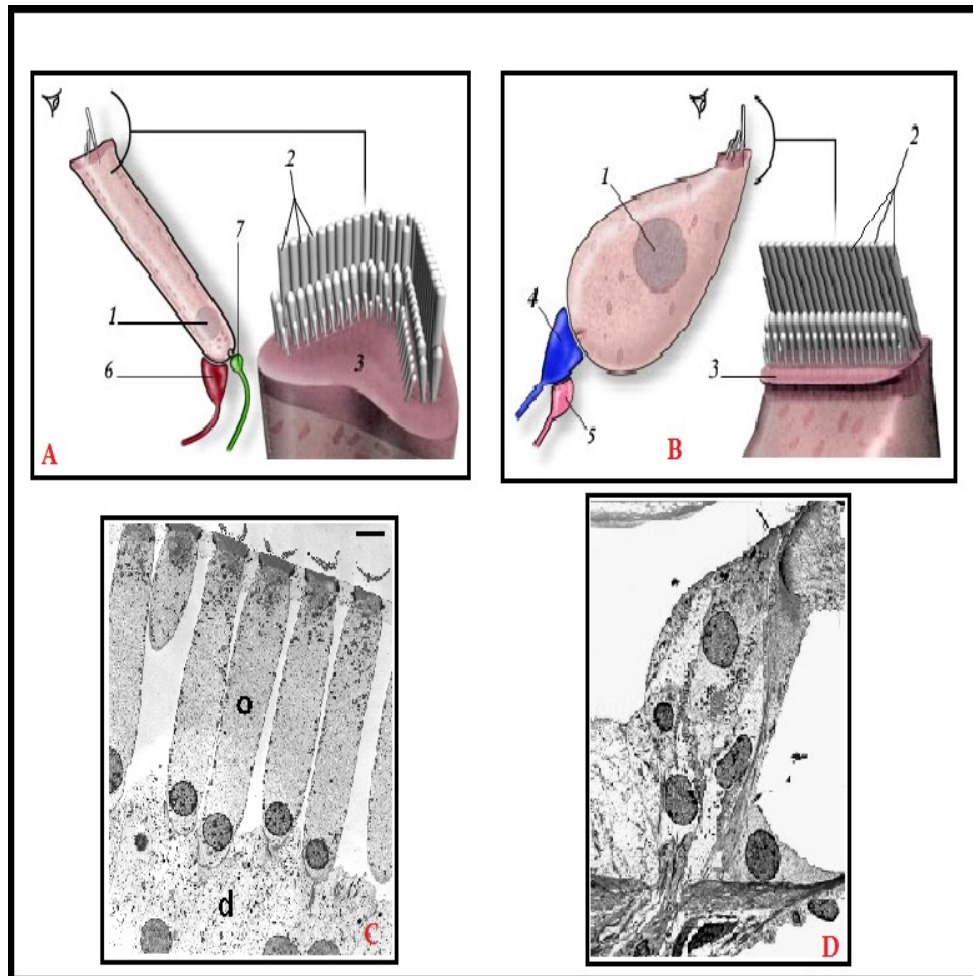


Figure 84. Représentation schématique des CCE et CCI. [46]

- A. Configuration d'une CCE.
- B. Configuration d'une CCI.
 - 1. Noyau, 2. Stéréocils, 3. Plaque cuticulaire, 4. Nerf auditif (neurone de type I), 5. Efférence latérale, 6. Efférence médiane, 7. Nerf auditif (neurone de type II).
- C. Coupe longitudinale en MET d'une même rangée de CCE (rat, apex). (o).CCE ; (d). les cellules de Deiters. Echelle : 5 μ m
- D. Structure d'une CCI en MET.

2.2- Le labyrinthe membraneux postérieur :

Il comprend les CSC, l'utricule, le saccule et les voies endolymphatiques.

a. les canaux semi-circulaires :

Ce sont trois tubes membraneux parcourant les canaux osseux correspondants auxquels ils sont accolés par leur bord périphérique. Ils occupent moins du tiers de leur diamètre. Chaque

canal possède une membrane propre formée du tissu conjonctif sur laquelle repose une membrane basale supportant elle-même des cellules épithéliales de type pavimenteux.

Les ampoules sont des dilatations membraneuses occupant l'ampoule osseuse correspondante (figure 85). Chaque ampoule possède un sillon constitué par un repli transversal de l'épithélium formant une saillie intraluminaire appelée crête ampullaire. C'est par le sillon que pénètrent les fibres nerveuses. Chaque crête est recouverte par un neuroépithélium comportant deux types de cellules (figures 86, 87) :

- **les cellules de type I**, de forme évasée, sont englobées dans une terminaison nerveuse afférente épanouie en calice. L'apex de la cellule comporte un anneau d'actine et d'actinomyosine possédant des propriétés contractiles. La contraction de l'apex est commandée par une boucle de rétrocontrôle courte naissant à la base de la cellule et parcourant le calice ;
- **les cellules de type II** sont les plus anciennes dans la phylogénie. Cylindrique, leur pôle basal est connecté à une terminaison afférente simple. Chaque cellule comporte à son pôle apical une touffe de stéréocils dominée par un kinocil plus long. Pour chaque ampoule, les stéréocils sont tous placés du même côté du kinocil. Par exemple, pour le canal latéral, les kinocils sont tous placés du côté vestibulaire. C'est l'inverse dans les ampoules antérieure et postérieure. Les kinocils et stéréocils sont enchâssés dans une membrane amorphe barrant transversalement l'ampoule : la cupule. Celle-ci, fixée par toutes ses faces aux parois de l'ampoule la ferme hermétiquement. Lors des mouvements de la tête, les déplacements inertiels de l'endolymphe déterminent un enfoncement de la cupule provoquant une flexion des kinocils et des stéréocils. Une flexion en direction du kinocil induit une augmentation de l'activité neuronale afférente, et inversement une flexion en sens inverse induit une inhibition de cette activité.

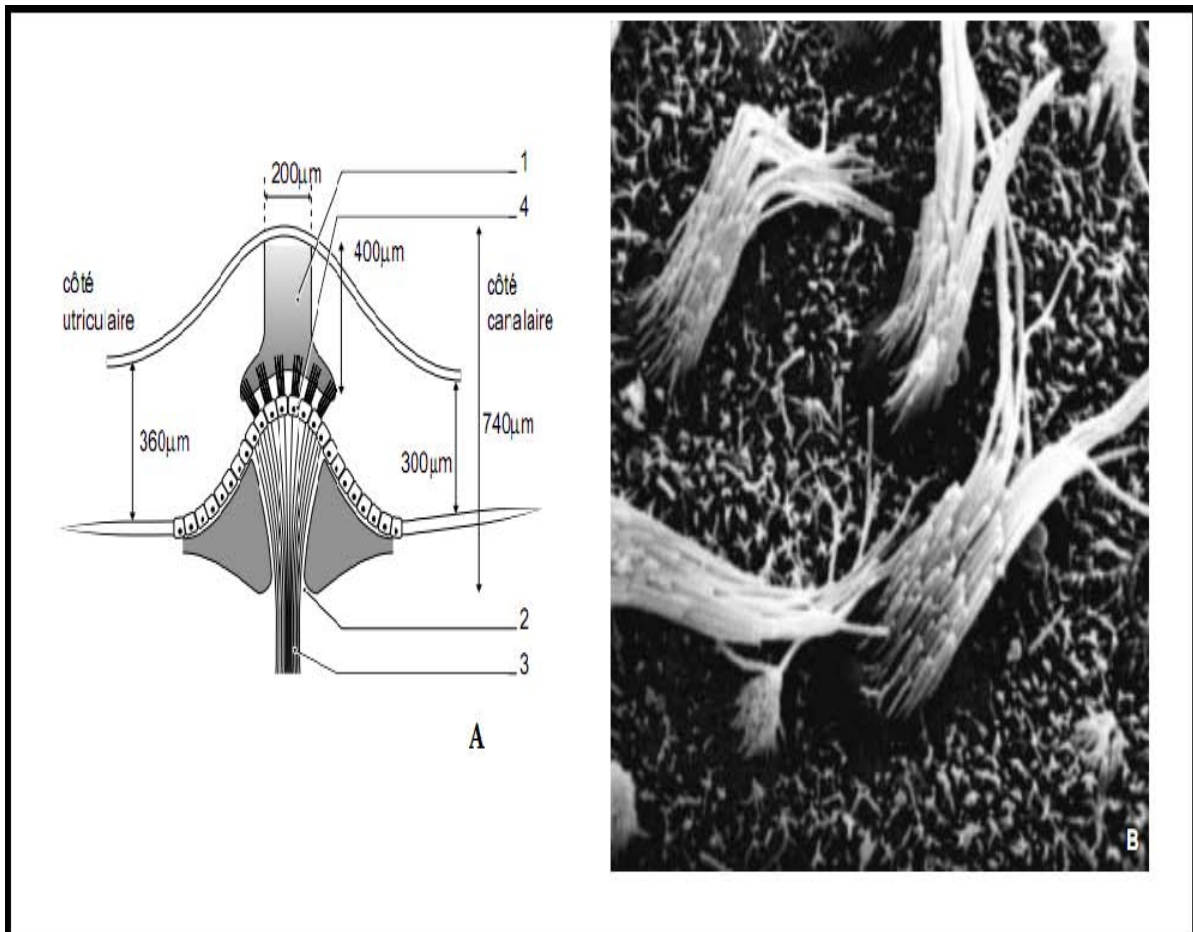


Figure 85. [40]

A. Crête ampullaire.

1. Cupule ; 2. Sillon ampullaire ; 3. Nerf ampullaire ; 4. Épithélium sensoriel.

B. Faisceau de stéréocils à la surface de la crête ampullaire lorsque la cupule a été arrachée. Fœtus humain. Microscopie à balayage (cliché Pr Alain Sans, unité 432 Inserm, université Montpellier II).

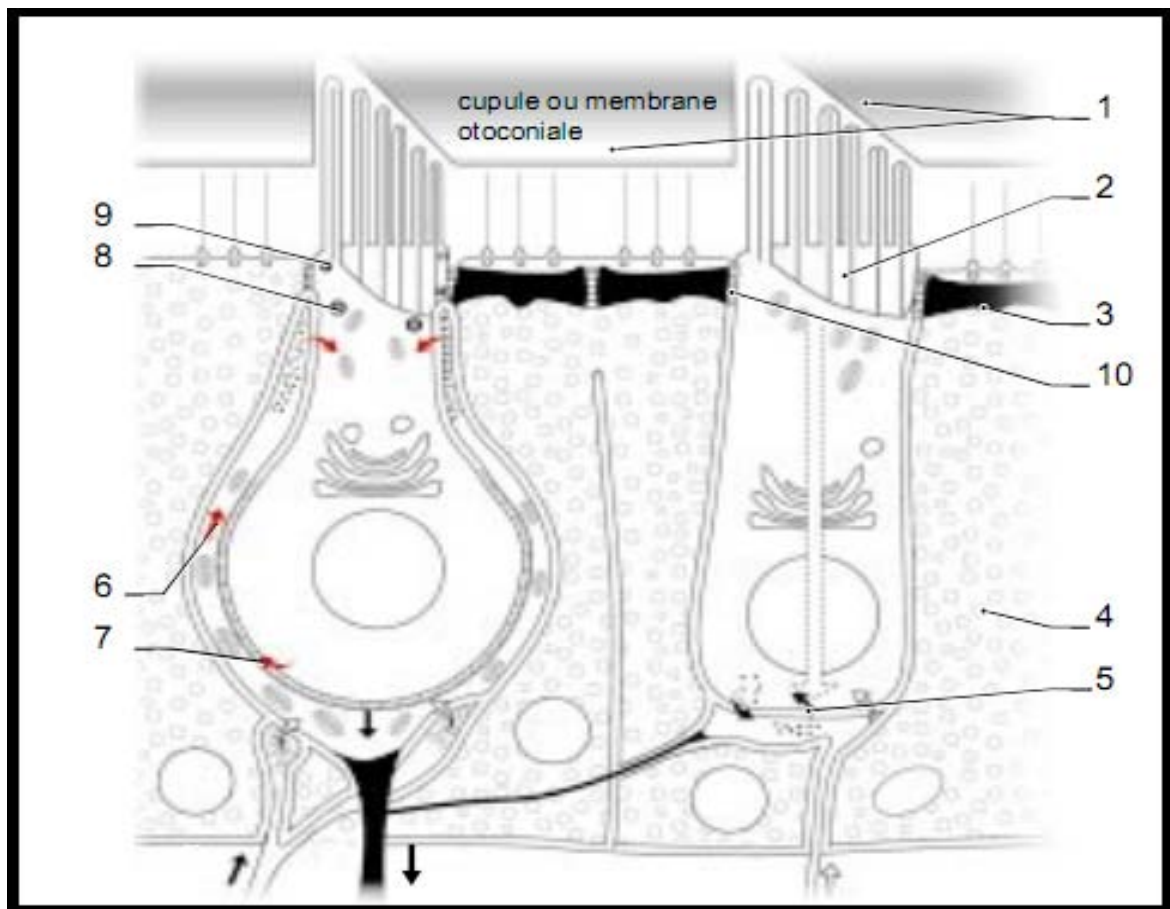


Figure 86. Configuration des cellules ciliées du neuroépithélium de la crête ampullaire [47].

1. Cupule ou membrane otoconiale ; 2. Actine + fodrine ; 3. Zone réticulaire ; 4. Cellule de soutien ; 5. Rétrocontrôle ; 6. Boucle courte ; 7. Boucle courte ; 8. Anneau d'actine ; 9 : actomyosine ; 10. Jonctions adhérentes et étanches.

À gauche, cellule de type I.

À droite, cellule de type II.

Les flèches indiquent les deux types de rétrocontrôle : soit boucle longue impliquant les fibres efférentes (flèches noires), soit boucle courte (flèches rouges) gagnant l'apex par le calice enserrant la cellule de type I.

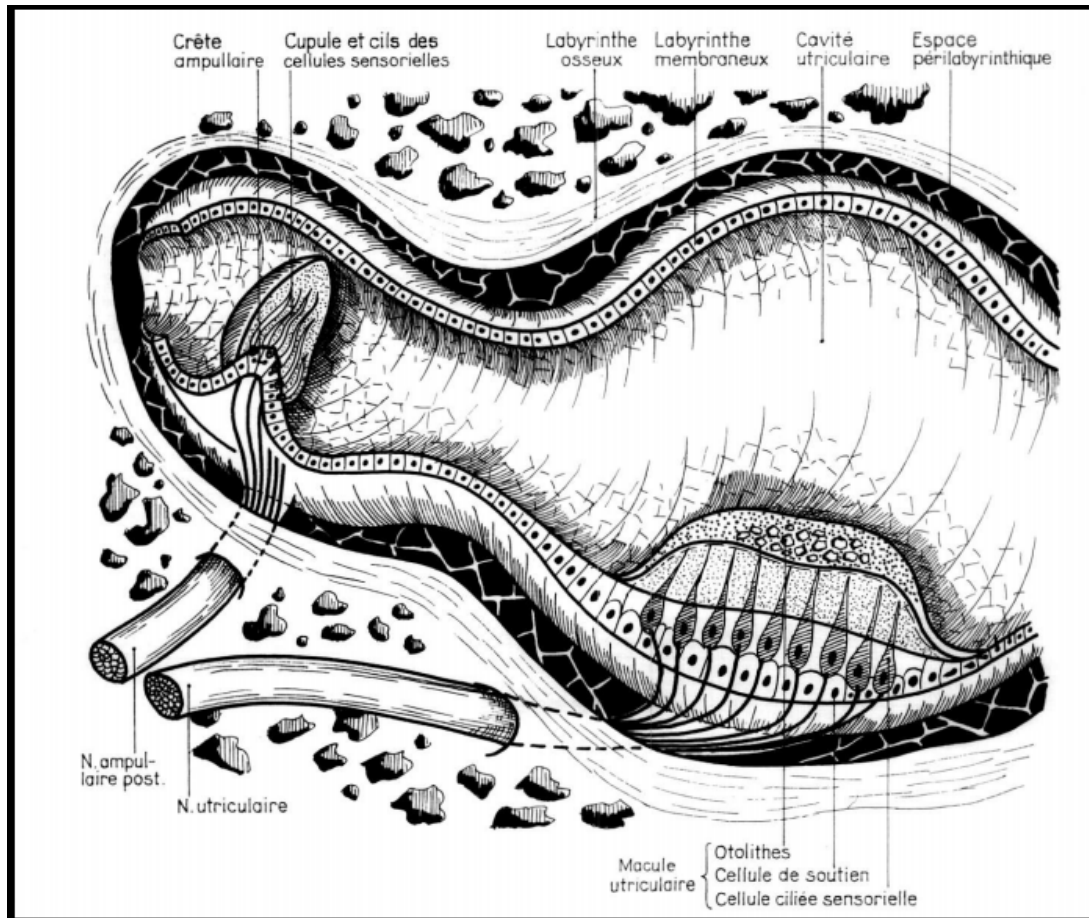


Figure 87. Configuration de la crête ampullaire postérieure et de la macule utriculaire. [9]

b. L'utricule :

C'est une vésicule allongée dont l'extrémité antérieure arrondie est accolée par sa face médiale à la fossette ovoïde. À ce niveau, l'utricule est fixé solidement par du tissu conjonctif et les filets nerveux utriculaires. Les CSCs débouchent dans l'utricule en deux groupes :

- Les orifices ampullaires des CSCs latéral et antérieur dans le plafond de l'extrémité antérieure ;
- L'orifice non ampullaire du canal latéral, l'orifice commun au CSC antérieur et au CSC postérieur et l'orifice ampullaire du canal postérieur dans l'extrémité postérieure (figure 88).

La branche utriculaire du canal endolymphatique s'ouvre au pôle postérieur (figures 74, 75).

La macule de l'utricule (figures 87-91) représente la région sensorielle située sur le plancher, en avant, en regard de la fossette ovoïde et dans un plan horizontal. Elle comprend :

- * L'épithélium sensoriel (neuroépithélium), qui contient les deux types de Cellules décrites plus haut. À la différence des crêtes ampullaires, il existe à la surface de la macule une ligne de partage dépourvue de cellules (striola) de laquelle le kinocil de chaque cellule est le plus proche alors que les stéréocils sont les plus éloignés ;
- * La membrane otolithique, disposée sur le neuroépithélium. Celle-ci comporte trois couches : la couche des otolithes, la couche gélatineuse, la couche du maillage sous membranaire .Les otolithes : sont des formations inertes, cylindriques, à extrémités polyédriques. Riches en carbonate de calcium (calcite), leur gravité spécifique est de 2,7. Les otolithes sont disposés sur une épaisseur d'environ 50 μm . La base de la couche des otolithes est enchâssée dans la couche gélatineuse et le reste est englué dans une substance gélatineuse faite de mucopolysaccharides neutres. Le maillage sous-membranaire constitue un réseau fibrillaire formant un réseau dans les mailles duquel pénètrent les extrémités des stéréocils. Ainsi, lors de l'inclinaison de la tête, la membrane otolithique glisse sur le neuroépithélium et les stéréocils subissent des déformations qui se traduisent soit par une excitation, soit par une inhibition, à la manière du processus décrit pour la crête ampullaire.

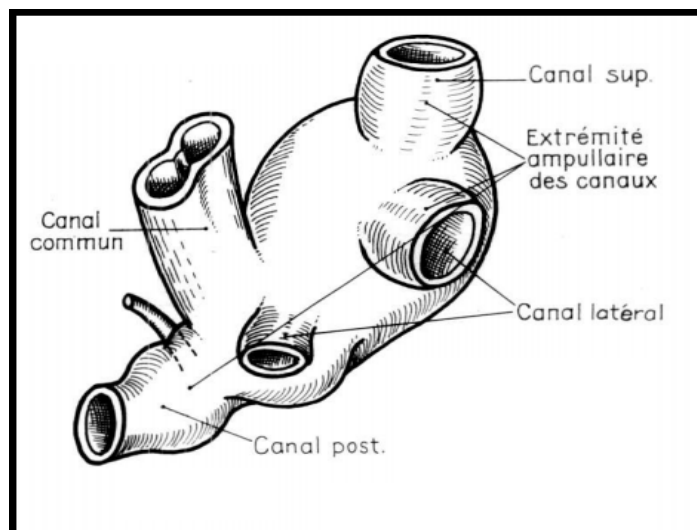


Figure 88. Configuration latérale de l'utricule (à droite : extrémité antérieure). [9]

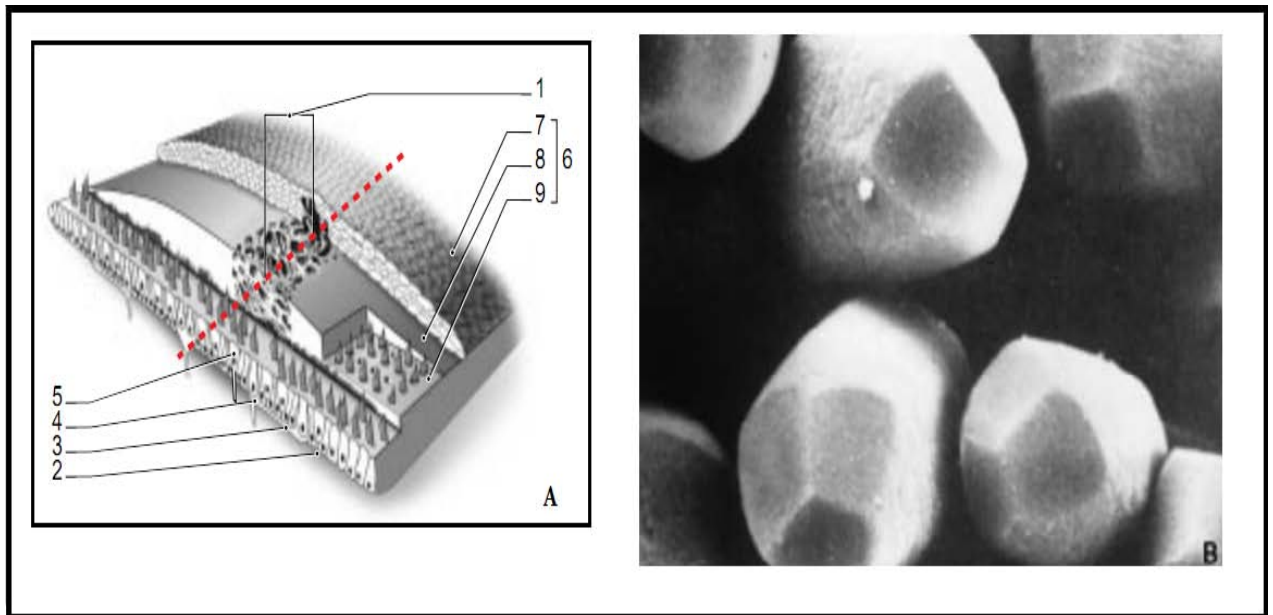


Figure 89. [48]

A. Macule otolithique et otolithes humains

B. Otolithes humains.

1. Striola ; 2. Membrane basale ; 3. Cellule de soutien ; 4. Cellules ciliées type I ; 5. Cellules ciliées type 2 ; 6. Membrane otolithique ; 7. Otolithes ; 8. Couche gélatineuse ; 9. Maillage sous-membranaire. Trait rouge : striola.

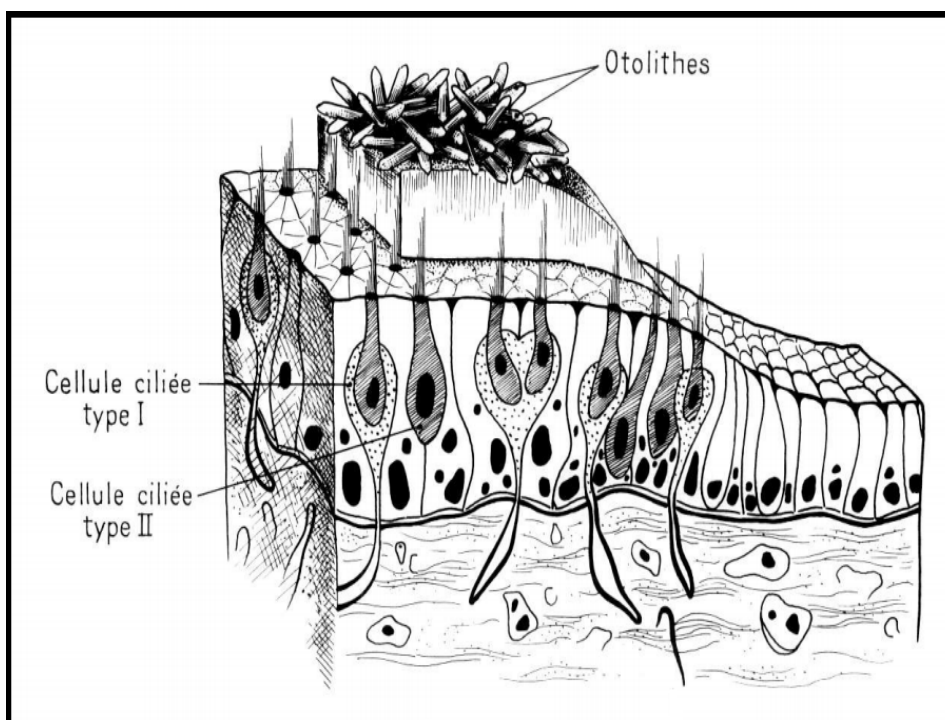


Figure 90. Coupe transversale de la macule utriculaire. [9]

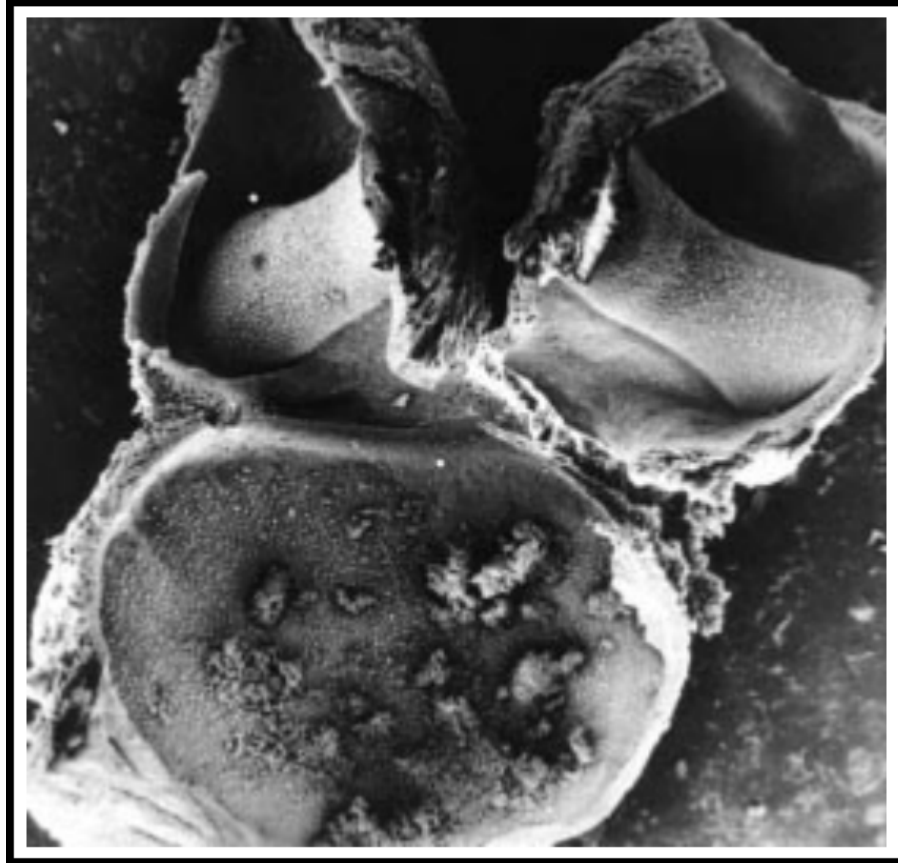


Figure 91. Utricule et crêtes latérale et supérieure d'un fœtus de 9 semaines. [40]

Microscopie à balayage. On distingue les cils sensoriels et sur la macule utriculaire des restes de membrane otolithique (cliché Pr Alain Sans, unité 432 Inserm, université Montpellier II).

c. Le saccule :

C'est une vésicule arrondie, sous-jacente à l'extrémité antérieure de l'utricule, plus médiale et plus petite que lui. Placé contre la fossette hémisphérique, il est étroitement fixé par du tissu conjonctif et par les filets nerveux sacculaires. De son pôle postéro-interne naît la branche sacculaire du canal endolymphatique (figures 72-74).

La macule du saccule est placée presque verticalement sur sa face médiale. La macule sacculaire a une structure analogue à la macule utriculaire. Toutefois, la striole y a une forme de L et pour chaque cellule, ce sont les stéréocils qui en sont les plus proches par rapport au kinocil.

d. Le canal et sac endolymphatique :

Le canal endolymphatique naît de la réunion de deux canalicules issus de l'utricule et du saccule. Dans la dénomination classique et internationale, le canal utriculo-sacculaire (ductus utriculosacularis) représente l'ensemble de ces deux canaux.

Le segment utriculaire s'abouche dans l'utricule par une fente très mince après avoir longé la face médiale de l'utricule. Le repli membraneux ainsi constitué est parfois dénommé valvule de Bast et serait censé isoler l'utricule du reste du labyrinthe (figures 92,93).

❖ ***Canal endolymphatique :***

Il présente d'abord une première portion dilatée intravestibulaire : le sinus. Puis, il se rétrécit au niveau de l'isthme en pénétrant dans l'aqueduc du vestibule. Enfin, le canal s'élargit à nouveau. Sur presque toute sa longueur, il est entouré de tissu conjonctif. L'épithélium qui le tapisse est variable : cubique ou pavimenteux selon les régions.

❖ ***Le sac endolymphatique :***

Il termine le canal et constitue un véritable prolongement intracrânien du labyrinthe membraneux. Large de 8 à 10 mm, il déborde la fossette unguéale dans un dédoublement de la dure-mère. Sa surface luminale permet de distinguer :

- une portion muqueuse proximale liée à la présence de nombreux plis de l'épithélium, soutenue par un tissu conjonctif très vasculaire ;
- une partie distale lisse et moins vascularisée que la portion proximale.

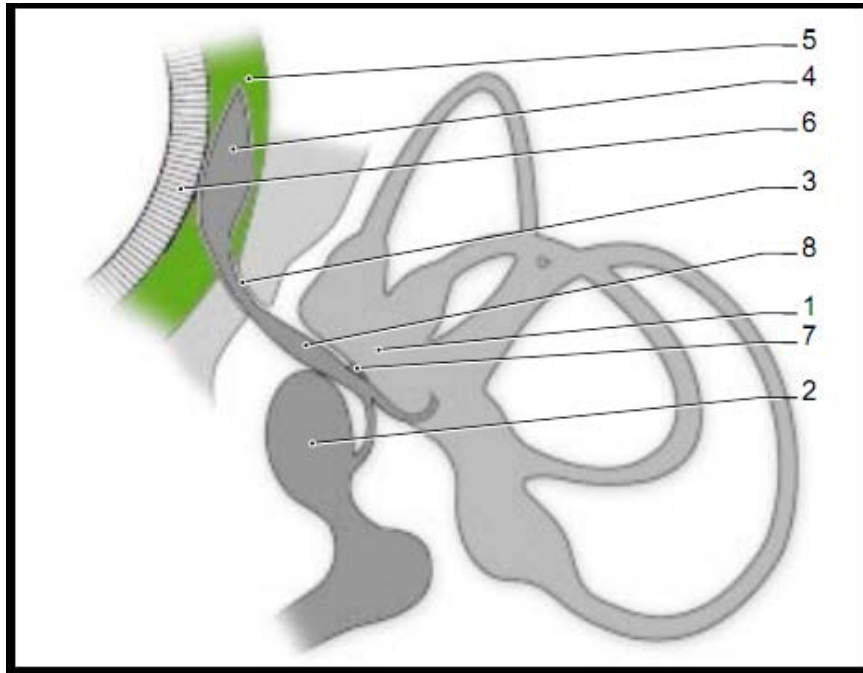


Figure 92. Valvule de Bast (repli utriculo-endo-lymphatique). [40]

1. Utricule ; 2. Saccule ; 3. Canal endolymphatique ; 4. Sac endolymphatique ; 5. Dure-mère ; 6. Arachnoïde ; 7. Valvule de Bast ; 8. Sinus du canal endolymphatique.

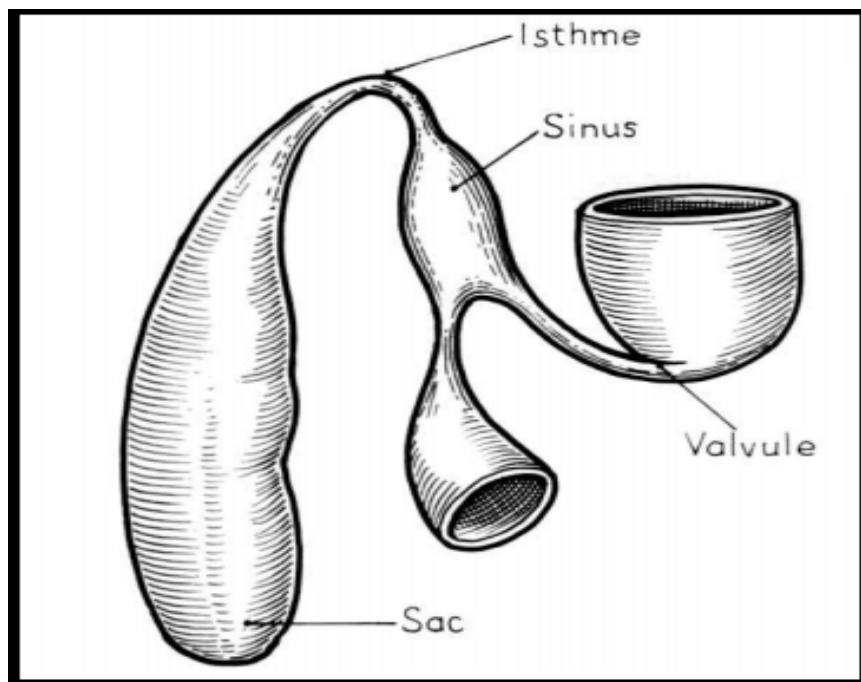


Figure 93. Configuration du canal et du sac endolymphatique. [9]

3. les compartiments liquidiens de l'oreille interne :

L'oreille interne abrite la périlymphe et l'endolymphe, deux compartiments liquidiens séparés par le labyrinthe membraneux. Dans le labyrinthe membraneux, l'endolymphe est riche en ions K^+ et positivement polarisée alors que les espaces qui entourent le labyrinthe membraneux sont remplis de périlymphe dont la composition ressemble à celle d'un liquide extracellulaire, riche en ions Na^+ . (Figure 94) [49]

Un troisième liquide particulier, la cortilymphe, remplit les espaces extracellulaires entourant l'organe de Corti. Elle est particulièrement difficile à étudier. Les recherches utilisant des microanalyses aux rayons X ont suggéré cependant que la composition de la cortilymphe était comparable aux milieux extracellulaires habituels. Ces difficultés d'étude rendent longues, difficiles et coûteuses les recherches sur l'évaluation de l'efficacité des traitements des pathologies de l'OI. [47]

C'est H. Silverstein qui a commencé à ponctionner de la périlymphe dans le labyrinthe pour l'étudier. Il a aussi fait partie des premiers qui ont perfusé la fenêtre cochléaire. Les compositions physiologiques des différents liquides sont aujourd'hui globalement connues. Le tableau d'illustration n° I montre les quantités des différents ions présents.

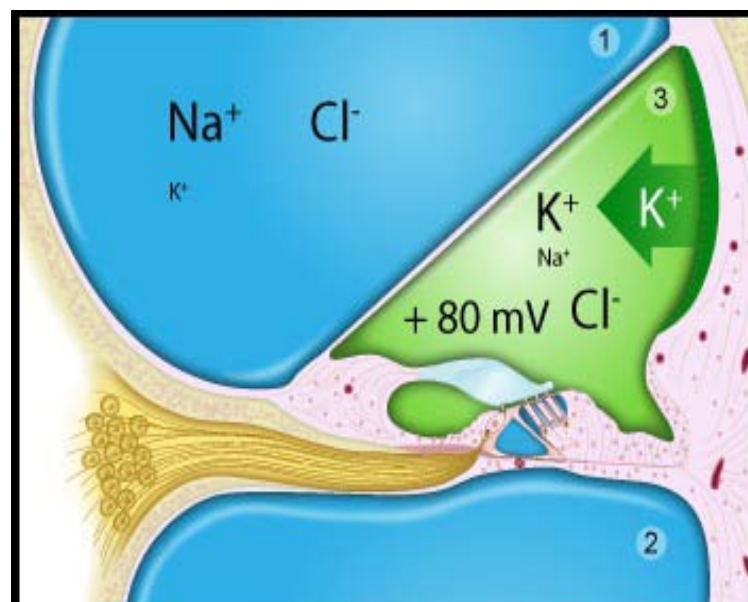


Figure 94. La composition des fluides cochléaires. [50]

La **pérylymphe** (en bleu) remplit les rampes vestibulaires (1) et tympaniques (2).

L'**endolymphe** (en vert) remplit canal cochléaire (3), Notez que seule la surface de l'organe de Corti (notamment les stéréocils des cellules sensorielles) baigne dans l'endolymphe.

**Tableau I. La quantité des différents ions en (mmol/L)
au niveau de la pérylymphe et l'endolymphe. [51]**

Les ions	Rampe médiane	Rampe vestibulaire	Rampe tympanique	Sac endolymphatique	Plasma	LCR
Na ⁺	1- 1,3	141-145	138-148	103	145	149
K ⁺	157	6	4,2	15	5	3,1
Ca ²⁺	0,023	0,6-2	1 à 2	0,5	2,6	1,2
Cl ⁻	131-132	121	119		106	129
HCO ³⁻	31	18	21		18	19
pH	7,4	7,3	7,3		7,3	7,3

Les différences notables proviennent des concentrations des ions Na⁺ et des ions K⁺ qui sont à l'origine de la possibilité de dépolarisation des cellules ciliées. On notera que la pérylymphe de la rampe vestibulaire n'a pas exactement la même composition que celle de la rampe tympanique. Cette différence pourrait provenir de la communication entre le LCR et la pérylymphe de la rampe tympanique par l'aqueduc cochléaire :

- La pérylymphe de la rampe vestibulaire semble être produite à partir du plasma à travers une barrière hémato-pérylymphatique ressemblant à une barrière hémato-cérébrale et à une barrière hémato-céphalorachidienne.

- La pérylymphe de la rampe tympanique pourrait avoir comme précurseur le plasma et/ou le LCR dans des proportions encore floues.

L'endolymphe a une composition clairement remarquable, à l'opposé de celle observée habituellement dans les liquides extracellulaires concernant les ions sodium et potassium :

- une concentration élevée en ions K⁺,
- une concentration faible en ions Na⁺.

Sa composition montre aussi quelques variations entre le vestibule et la cochlée, ainsi que longitudinalement, entre la base de la cochlée et l'apex. La concentration en ions K⁺ est

supérieure dans la partie basse de la cochlée, et donc la différence de concentration en ions K^+ entre l'endolymphe et la périlymphe à ce niveau est plus importante. On peut en déduire une plus grande capacité à la dépolarisation pour les cellules ciliées situées dans cette partie et correspondant au traitement des sons aigus. Toutes les cavités remplies d'endolymphe sont polarisées positivement par rapport au plasma ou à la périlymphe. Le potentiel endolympatique est produit localement :

- dans la cochlée par la strie vasculaire,
- dans l'utricule, le saccule et les canaux semi-circulaires par des cellules non sensorielles

Les endolymphe cochléaire et vestibulaire ont des compositions ioniques voisines, cependant les ions ne sont pas à leur point d'équilibre isoélectrique dans la cochlée alors qu'ils s'en rapprochent dans le vestibule. Il en résulte une grande différence de potentiel endolympatique entre les deux zones :

- 80 à 90 mV dans la cochlée ?
- 4 à 5 mV dans le vestibule

Cet écart vient d'une différence de mécanisme de mécanotransduction entre les cellules ciliées cochléaires et les cellules ciliées vestibulaires, ces dernières laissant « fuir » en permanence des ions K^+ de l'endolymphe vers la périlymphe. Les épithéliums spécialisés dans la sécrétion ionique qui permettent de constituer l'endolymphe ont un fonctionnement très proche de l'épithélium rénal. Cette similarité explique certaines associations entre pathologie rénale et pathologie d'OI. [47, 51]

4. Les rapports de l'oreille interne :

L'OI est au cœur de la portion pétreuse de l'os temporal placée entre :

4-1 Le méat acoustique interne médialement :

C'est un canal osseux parcouru par le nerf auditif, le nerf facial et le nerf intermédiaire (figure 95). Il est creusé dans le rocher d'avant en dehors, il mesure environ 1cm et s'ouvre sur

sa face postérieure par un orifice : le **pore acoustique interne**. Le fond du MAI répond en avant à la base de la columelle, et en arrière à la face interne du vestibule.

Deux crêtes, l'une horizontale, la crête transverse, et l'autre verticale le subdivisent en quatre quadrants, livrant passage au paquet cochléo-vestibulo-facial :

- en avant et en haut : l'aire du nerf facial et du nerf intermédiaire
- en avant et en bas : l'aire cochléaire au niveau de laquelle la base de la columelle est perforée d'une série d'orifices disposés en spirale : le **tractus spiral criblé**
- en arrière et en haut : l'aire vestibulaire supérieure pour le nerf utriculo ampullaire (branche supérieure du nerf vestibulaire) formé par les nerfs utriculaire, ampullaire antérieur et ampullaire latéral.
- En arrière et en bas : l'aire vestibulaire inférieure pour le nerf sacculaire, branche inférieure du nerf vestibulaire, auquel se joint le nerf ampullaire postérieur qui émerge par le **foramen singulaire**.

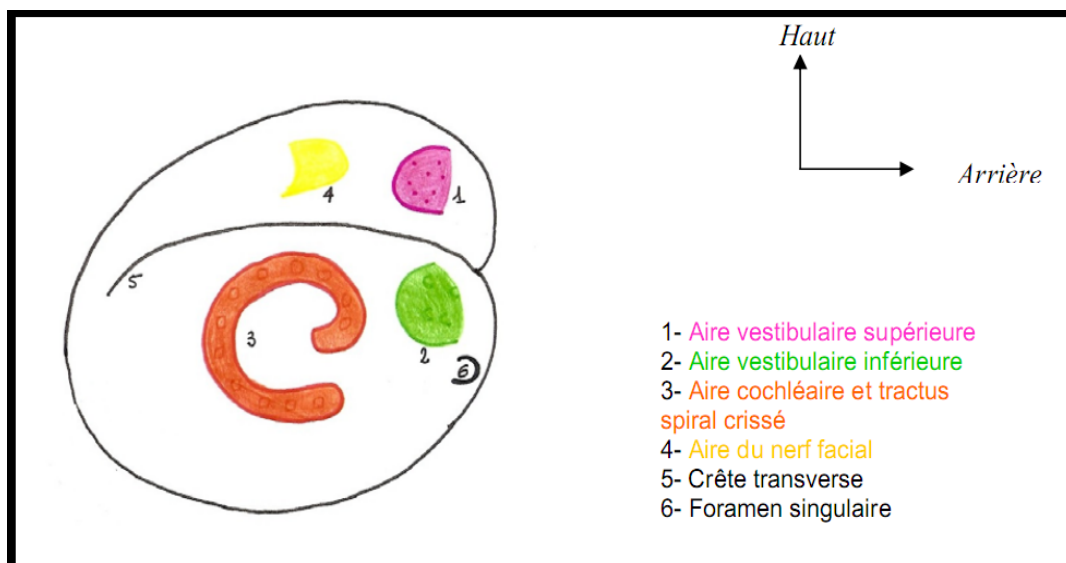


Figure 95. Coupe sagittale avec vue médiale du fond du MAI droit. [52]

4-2 L'oreille moyenne latéralement ;

4-3 L'étage moyen de la base du crâne en haut ;

4-4 L'étage postérieur de la base du crâne en arrière ;

4-5 La trompe d'Eustache et la région parapharyngée en avant et en bas ; l'espace sous-parotidien postérieur en bas.

5. La vascularisation de l'oreille interne :

5-1 La vascularisation artérielle :

L'OI osseuse et l'OI membraneuse possèdent une vascularisation indépendante (figures 96, 97) :

a. **Les Artères du labyrinthe osseux :**

Elles proviennent :

- de l'artère tympanique inférieure, branche de l'artère pharyngienne ascendante ;
- de l'artère stylomastoïdienne, branche de l'artère auriculaire postérieure ;
- de l'artère subarcuata, née soit de l'artère auditive interne, soit directement de l'artère cérébelleuse inférieure et antérieure. L'artère subarcuata gagne le canal pétromastoïdien par la fossa subarcuata.

b. **Les Artères du labyrinthe membraneux :**

Elles proviennent de l'artère labyrinthique née de l'artère cérébelleuse moyenne ou inférieure et antérieure ou directement du tronc basilaire. Elle traverse le MAI au fond duquel elle se divise en trois branches (figure 96) :

- Artère vestibulaire antérieure : Elle donne des rameaux pour la face postérieure du saccule et de l'utricule, et se distribue aux CSCs antérieur et latéral.
- Artère cochléaire : Elle pénètre dans le modiolus où elle décrit une spirale en donnant naissance aux artères radiales.
- Artère vestibulo-cochléaire : Souvent née de la précédente, elle se divise schématiquement en deux branches :
 - + La branche cochléaire, qui irrigue le quart basal du canal cochléaire et s'anastomose à l'artère cochléaire ;
 - + La branche vestibulaire postérieure, qui vascularise la macule du saccule, l'ampoule et les parois du CSC postérieur et les pôles inférieurs du saccule et de l'utricule.

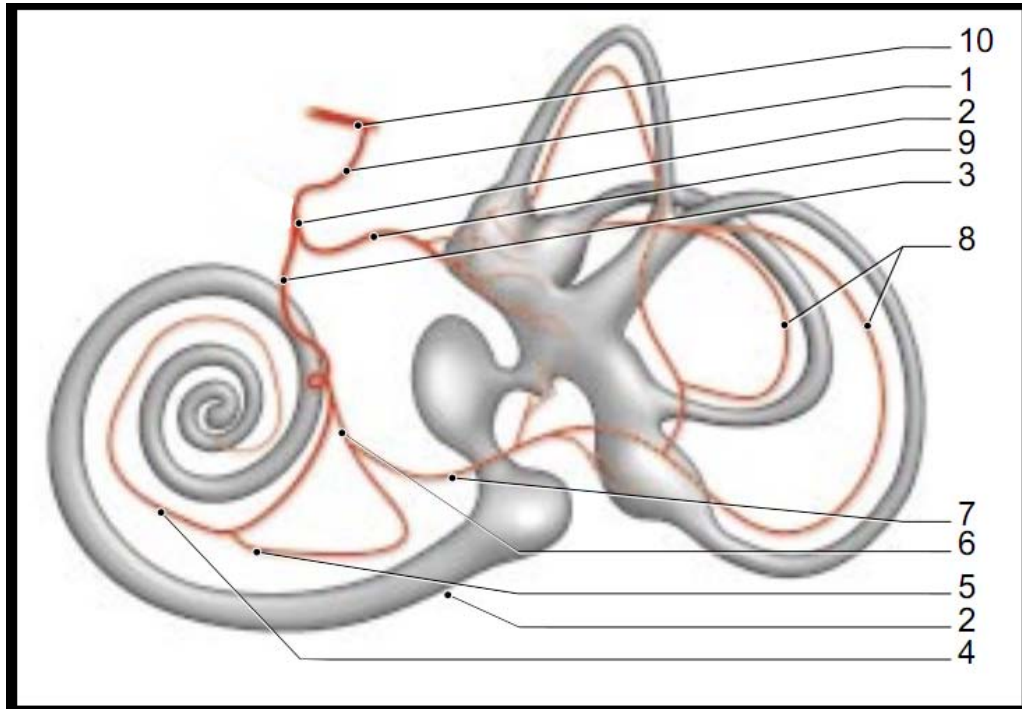


Figure 96. Système artériel de l'oreille interne [53].

1. Artère cérébelleuse antéro-inférieure ; 2. Artère labyrinthique ; 3. Artère cochléaire ;
4. Artère cochléaire ; 5. Rameau cochléaire ; 6. Artère vestibulo-cochléaire ; 7. Artère
vestibulaire inférieure ; 8. Artères canalaire ; 9. Artère vestibulaire antérieure ; 10. Artère
basilaire.

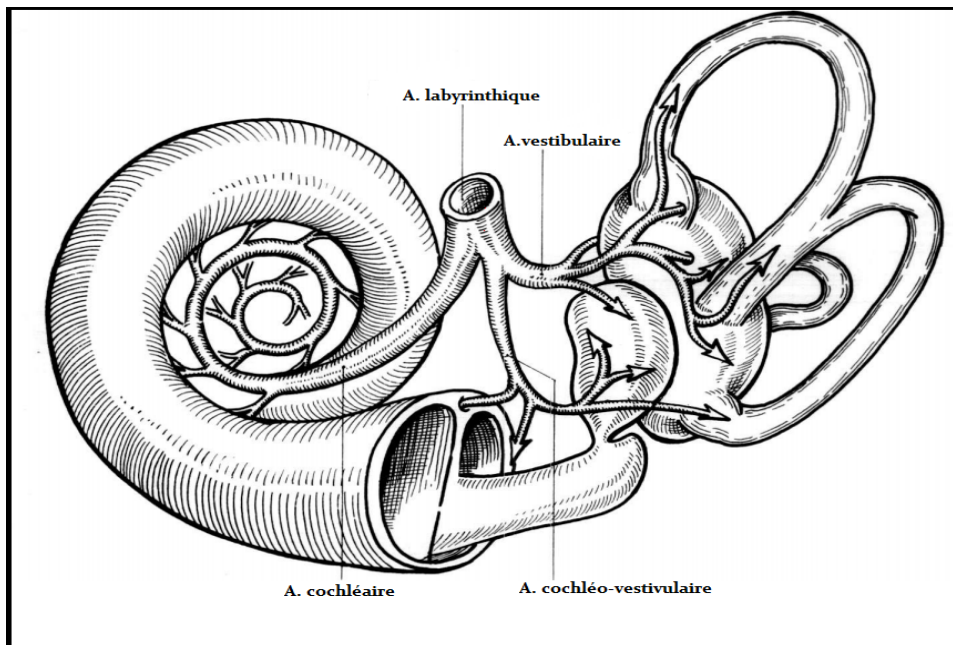


Figure 97. La vascularisation artérielle du labyrinthe membraneux. [9]

5-2 La vascularisation veineuse:

Elles se distribuent en deux réseaux principaux (figure 98) :

❖ ***Le réseau de l'aqueduc du vestibule :***

Il réunit les veines en provenance des zones non sensorielles du labyrinthe vestibulaire et, en particulier, les veines des CSCs (veine vestibulaire postérieure). Ainsi se forme la veine de l'aqueduc du vestibule qui chemine dans un canal parallèle à l'aqueduc et qui reçoit les veines du sac endolymphatique.

❖ ***Le réseau de l'aqueduc de la cochlée :***

Il rassemble :

- Des veinules en provenance des zones sensorielles du vestibule : la veine vestibulaire supérieure (utricule) et la veine vestibulaire inférieure (sacculé, ampoule du CSC postérieur) ;
- La veine cochléaire commune (spiral modioli), formée par la réunion de deux vaisseaux : la veine spirale antérieure et la veine spirale postérieure ;
- La veine de la fenêtre cochléaire.

Ce réseau se draine dans la veine de l'aqueduc du limaçon qui chemine dans le canal de Cotugno, parallèle à l'aqueduc du limaçon.

Terminaison :

Ces deux réseaux se jettent dans le sinus pétreux inférieur, et de là, dans le golfe de la jugulaire. Ainsi, le MAI ne possède pas de circulation veineuse en provenance de l'OI.

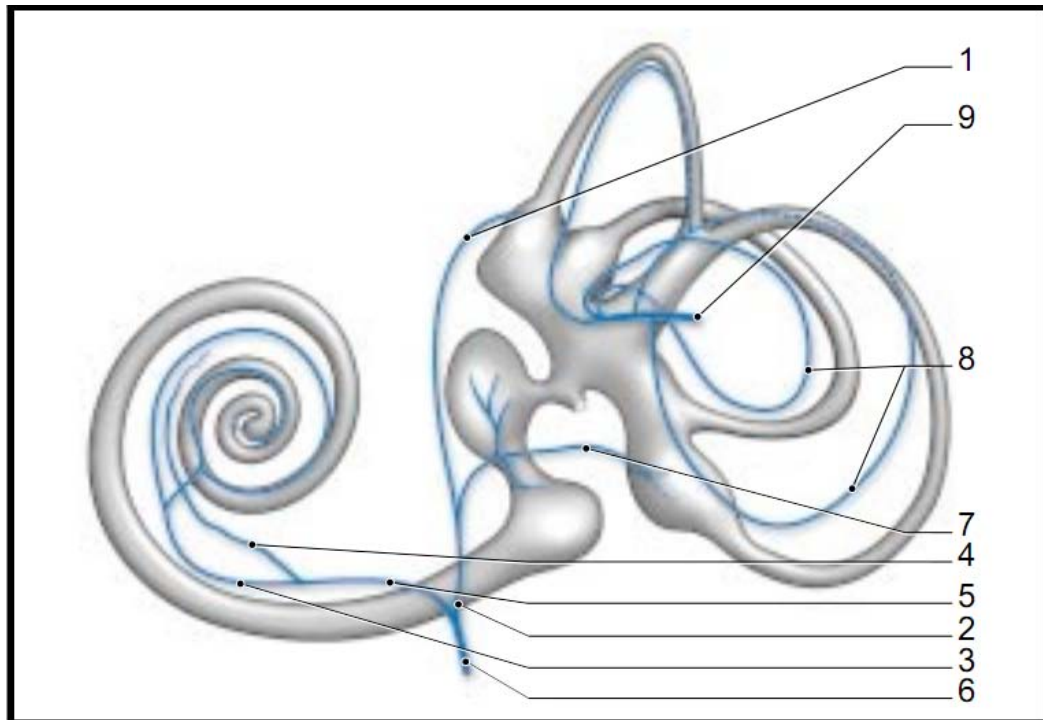


Figure 98. Le système veineux de l'oreille interne [53].

1. Veine vestibulaire supérieure ; 2. Veine vestibulocochléaire ; 3. Veine spirale postérieure ; 4. Veine spirale antérieure ; 5. Veine cochléaire commune ; 6. Veine de l'aqueduc cochléaire ; 7. Veine vestibulaire inférieure ; 8. Veines canalaires ; 9. Veine de l'aqueduc du vestibule.

6. L'innervation de l'oreille interne :

La huitième paire crânienne ou le nerf statoacoustique se divise dans le MAI en une branche antérieure, le nerf cochléaire et une branche postérieure, le nerf vestibulaire (figure 99).

6-1 Le nerf cochléaire :

a. Son trajet :

Volumineux, il se dirige vers la fossette cochléaire. Dans ce trajet, il s'enroule en une mince lamelle formant une volute dont les spires correspondent exactement à celles du crible spiroïde de la base du modiolus. Les nerfs pénètrent au fur et à mesure les foramina du modiolus, suivent les canaux longitudinaux et aboutissent au canal spiral de Rosenthal où ils se distribuent au ganglion spiral de Corti dont les amas cellulaires se répartissent dans les

deux tours et demi de spires du canal. Au sortir du ganglion spiral de Corti, les fibres s'engagent dans l'épaisseur de la lame spirale, puis ils pénètrent dans le canal cochléaire par les foramina nervina en perdant leur gaine de myéline. Cette région de la lame spirale, ou habenula perforata, comporte 2 500 perforations osseuses.

b. L'innervation des cellules ciliées :

b-1 Les cellules ciliées internes :

Elles assurent la transduction mécano-bioélectrique des vibrations de la membrane tectoriale. Elles sont connectées aux fibres afférentes, au nombre de 45 000 environ, qui constituent 90 à 95 % des fibres du nerf cochléaire. Ce sont ces fibres qui véhiculent le message sensoriel jusqu'aux noyaux cochléaires (système afférent).

b-2 Les cellules ciliées externes :

Elles ne sont pas de véritables récepteurs sensoriels. Ce sont des cellules douées de propriétés contractiles qui réagissent à l'excitation sonore en modifiant la tension segmentaire de la membrane tectoriale. Elles augmentent ainsi sa sélectivité en fréquence. Elles reçoivent 3 à 5 000 fibres du système efférent nées du complexe olivaire bulbaire.

6-2 Le nerf vestibulaire :

Il se place en arrière du nerf cochléaire et se divise rapidement en trois branches.

a. Le nerf vestibulaire supérieur :

Il se porte vers la fossette postéro-supérieure du fond du MAI et s'engage dans les trous que présente cette fossette. Il pénètre dans le vestibule par les trous de la tache criblée supérieure en se divisant en trois rameaux :

- le nerf utriculaire, qui se rend à la macule utriculaire ;
- le nerf ampullaire supérieur, qui se distribue à la crête ampullaire du CSC antérieur ;
- le nerf ampullaire latéral, qui se rend à la crête ampullaire du CSC latéral.

b. Le nerf vestibulaire inférieur :

Il forme le nerf sacculaire. Sortant du méat acoustique par la fossette postéro-inférieure, il entre dans le vestibule par les pertuis de la tache criblée moyenne et se termine dans la macule du saccule.

c. Le nerf ampullaire postérieur :

Il s'engage dans le foramen singulare de Morgagni, jusqu'à la tache criblée inférieure, et se distribue à la crête ampullaire du CSC postérieur.

Dans tout leur trajet terminal, ces fibres ne traversent pas les espaces périlymphatiques, mais cheminent dans le tissu conjonctif qui fait adhérer à ce niveau le labyrinthe membraneux au labyrinthe osseux. Elles perdent leur gaine de myéline dès qu'elles franchissent la basale du tissu ectodermique.

6-3 Les autres systèmes d'innervation cochléaire :

a. Le système sympathique :

Ses fibres auraient été mises en évidence le long des vaisseaux du modiolus et jusqu'aux vaisseaux de la berge tympanique, mais les vaisseaux de la strie vasculaire ne posséderaient aucun récepteur alpha- ou bêta-adrénergique. Au niveau de l'habenula perforata, quelques contacts auraient été démontrés entre terminaisons sympathiques et fibres nerveuses non myélinisées.

b. Le système parasympathique :

Les fibres parasympathiques provenant du nerf intermédiaire de Wrisberg (contingent salivaire supérieur) passeraient à l'OI en transitant par les anastomoses acoustico-faciales. Ces dernières fibres sont parfois présentées comme n'étant autres que le système efférent.

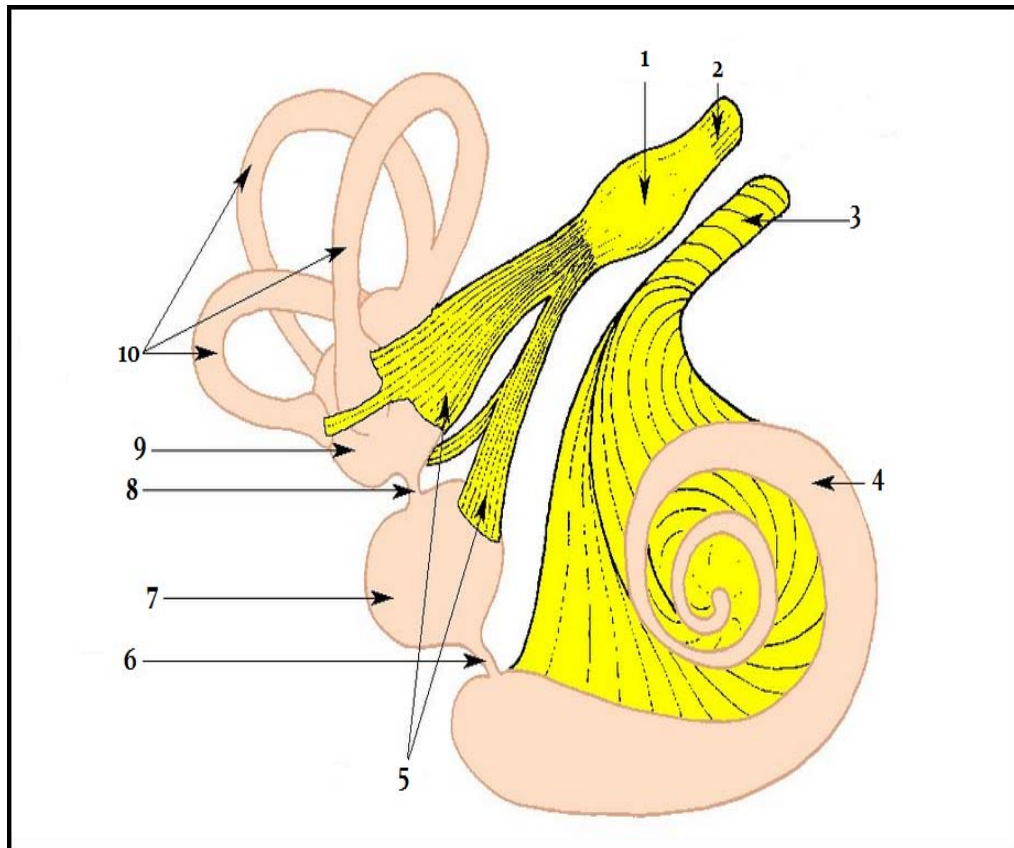
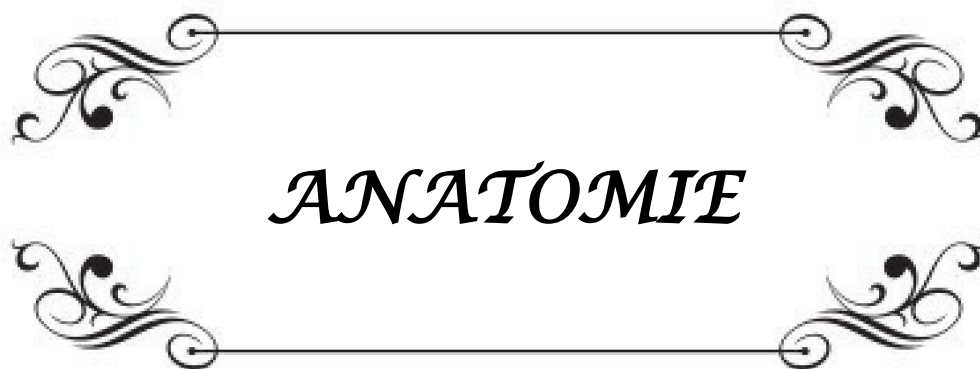


Figure 99. Le nerf cochléovestibulaire. [54]

- 1. Ganglion de Scarpa ; 2. Nerf vestibulaire ; 3. Nerf cochléaire ; 4. Limaçon membraneux ;
- 5. Zones maculaires ; 6. Canalis reuniens ; 7. Saccule ; 8. Canal utriculo-sacculaire ;
- 9. Utricule ; 10. CSCs membraneux



ANATOMIE

L'oreille est l'organe de l'audition (la cochlée), mais également celui de l'équilibre.

L'OI est une chambre remplie de liquide. Les vibrations qui atteignent l'OI impriment un mouvement au liquide. Au contact de ce liquide en mouvement, les cellules spécialisées de l'ouïe émettent des pulsions électriques qui sont transmises au cerveau au moyen du nerf auditif.

L'OI contient également les organes qui donnent le sens de l'équilibre, coordonnent les mouvements de la tête et des yeux et les ajustements de la posture du corps. Les récepteurs de l'équilibre ou récepteurs vestibulaires, au cœur des problèmes de vertiges, informent en permanence le cerveau sur la position exacte de la tête et sur ses déplacements. Ces informations participent en priorité aux réactions d'adaptation qui maintiennent l'équilibre du corps.

I. La physiologie de l'audition :

Pour que l'on puisse entendre, l'énergie des ondes sonores doit être captée, transmise à l'organe récepteur et traduite en signaux électriques que le système nerveux peut ensuite analyser. Chacune de ces tâches est accomplie par l'une des trois parties de l'oreille, l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne [55].

1- Les propriétés physiques du son :

1.1- Définition du son :

Le son est une onde produite par une vibration mécanique du support, ou milieu, pouvant être solide, liquide ou gazeux. Il représente la partie audible du spectre des vibrations acoustiques.

Une onde sonore est la propagation de proche en proche d'une perturbation caractérisée par une vibration des molécules du milieu autour de leur position d'équilibre (ou état de repos) ; c'est une propagation d'énergie dans un milieu matériel sans transport de matière (figure 100).

Une onde sonore est le plus souvent une onde mécanique longitudinale, car les molécules se déplacent parallèlement au sens de propagation de l'onde. Dans les solides, il peut également exister des composantes transversales. [56]

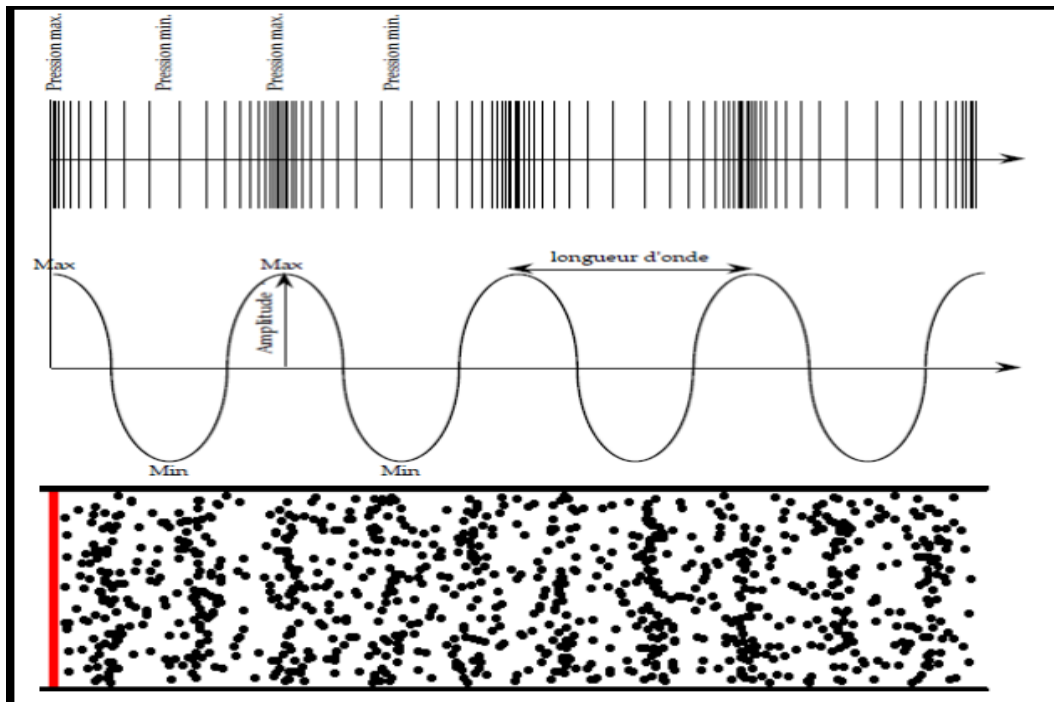


Figure 100. Représentation schématique d'une onde sonore. [57]

Chaque onde sonore se caractérise par :

a. La fréquence : [58]

La fréquence d'une onde correspond au nombre de cycles qu'elle va effectuer en une seconde, c'est-à-dire le nombre de fois où le mouvement se reproduit identique à lui-même pendant une seconde. Elle est mesurée en Hertz (Hz), où 1 Hz = 1 cycle par seconde. Un cycle complet correspondant à la durée entière d'une vibration est appelé période (T). Elle correspond à l'inverse de la fréquence : $T=1/F$. L'oreille humaine perçoit des fréquences comprises entre 20 Hz (fréquence perçue la plus grave) et 20 000 Hz (fréquence perçue la plus aiguë). La fréquence est directement liée à la sensation de hauteur d'un son. En effet, à une fréquence faible (période

longue) correspond un son grave, et à une fréquence élevée (courte période) correspond un son aigu (figure 101).

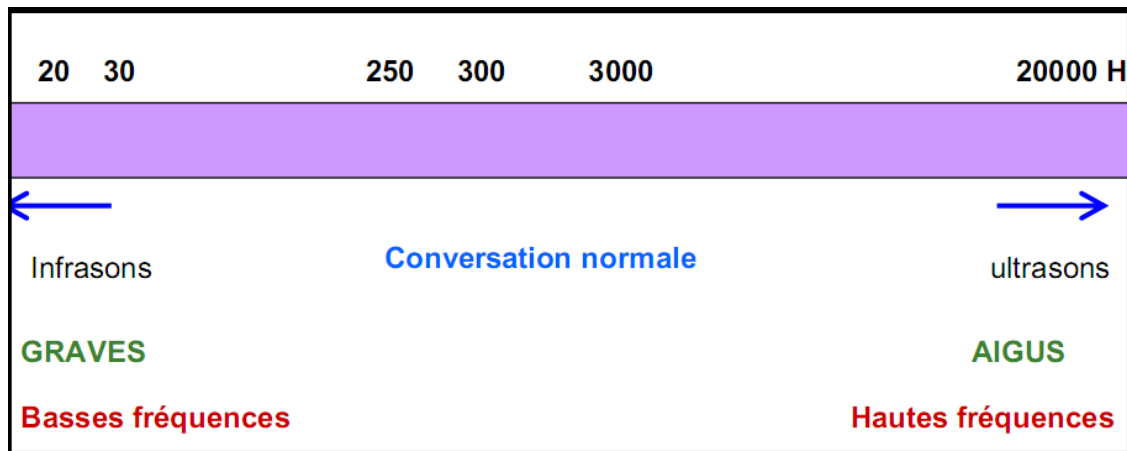


Figure 101. Les fréquences audibles par l'homme.

b. La célérité (c): [58]

La vitesse (v) d'une onde est appelée célérité. Elle s'exprime en mètre par seconde. Elle dépend de la nature de l'onde, et des caractéristiques physiques du milieu où elle se propage. Le son se déplace à 340 m/s dans l'air (1 224 Km/h), 1 500 m/s dans l'eau, 6 000 m/s dans le granite. Plus le milieu est dense, plus cette vitesse est grande. La lumière quant à elle, se propage à 300 000km/s dans le vide. Voilà pourquoi on entend le tonnerre après avoir vu l'éclair. C'est selon ce principe qu'en 1822 les physiciens français Gay-Lussac et Louis Arago mesurèrent pour la première fois la vitesse du son dans l'air. Munis d'un chronomètre et d'une longue-vue, ils se postèrent à 20 kilomètres de distance d'une batterie de canon. Le temps s'écoulant entre la lueur s'échappant de la bouche du canon et la détonation leur permit de calculer une vitesse de propagation de 340 mètres par seconde.

c. L'amplitude (a) : [58]

Une onde mécanique véhicule une variation longitudinale de pression. L'amplitude de l'onde, valeur absolue maximale, est alors traduite en Pascal (unité de pression). L'énergie en Joules associée à l'onde est proportionnelle au carré de l'amplitude. L'amplitude détermine la puissance du son, c'est l'élongation maximum de l'onde sonore. Plus l'amplitude est grande

plus le son est fort. Notons que l'amplitude de la vibration décroît avec la distance, car l'énergie de l'onde se répartit dans un volume qui s'accroît. Lorsqu'une onde est canalisée par un tuyau cylindrique (comme pour la flûte) ou par un réflecteur (comme la table du violon) l'amplitude ne faiblit pratiquement pas. C'est pour cela qu'on peut entendre très bien les bruits dans un tunnel ou une station de métro. (Figures 100, 102)

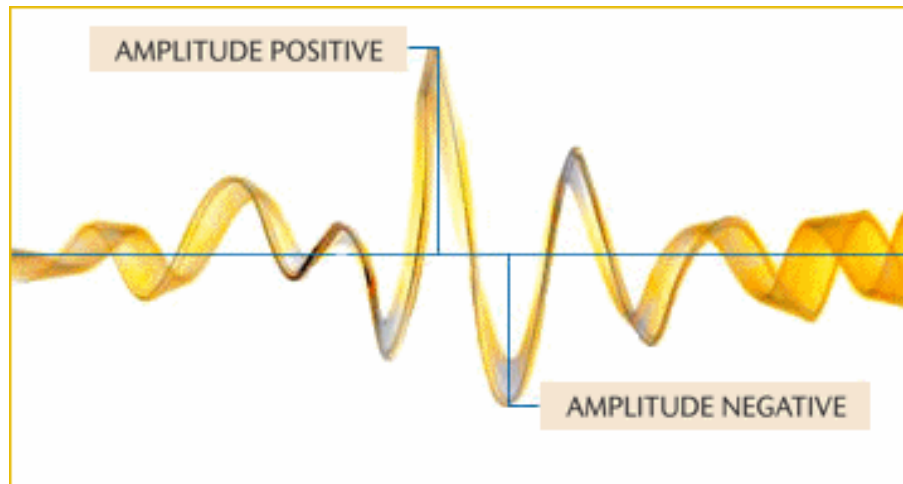


Figure 102. Représentation de l'amplitude d'une onde acoustique

d. le timbre :

Il permet de différencier plusieurs instruments qui émettent la même note. L'oreille humaine est capable de discerner environ 400 000 sons différents.

e. Longueur d'onde :

La longueur d'onde est la distance séparant deux molécules successives dans le même état vibratoire (même pression et vitesse acoustique) ou encore la distance parcourue par l'onde pendant une période. (Figure 103)

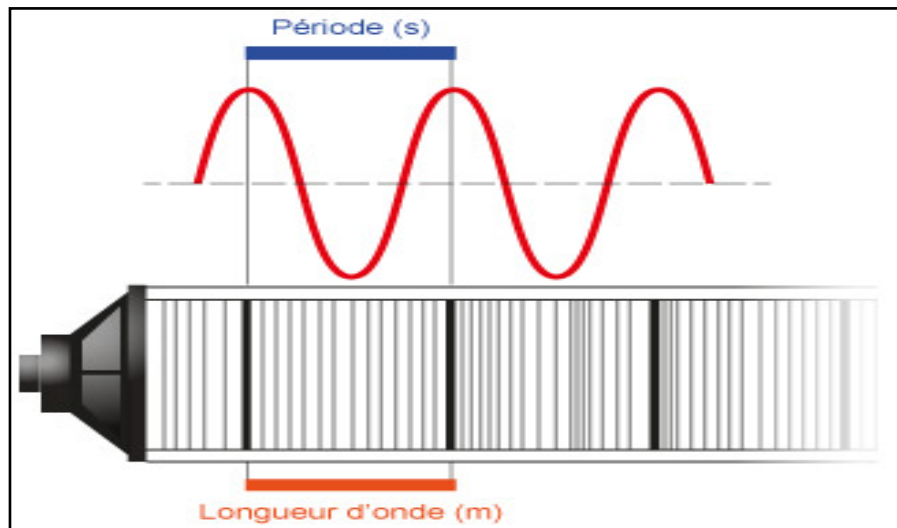


Figure 103. Représentation de la longueur d'onde. [56]

f. L'impédance acoustique :

Chaque milieu est caractérisé par une résistance au passage du son appelée impédance acoustique. Dans le cas général, elle correspond au rapport entre la pression acoustique en un point donnée et la vitesse de vibration des molécules en ce point (attention il ne s'agit pas de la célérité du son).

Dans le cas d'une onde plane, il est possible d'estimer une valeur de l'impédance par la formule : $Z = \rho \cdot c$ ou Z est l'impédance acoustique caractéristique du milieu ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), ρ la masse volumique du milieu ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) et c la célérité du son ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$). (Figure 104).

Ainsi, l'impédance de l'air est d'environ $444 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ et celle de l'eau de $1,5 \cdot 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ soit un rapport de $3,4 \cdot 10^3$. Cette notion est importante pour comprendre la réaction d'une onde sonore se propageant d'un milieu aérien vers un milieu liquidien. Au contact du milieu d'impédance élevée une partie importante de l'onde sera réfléchiée. [56]

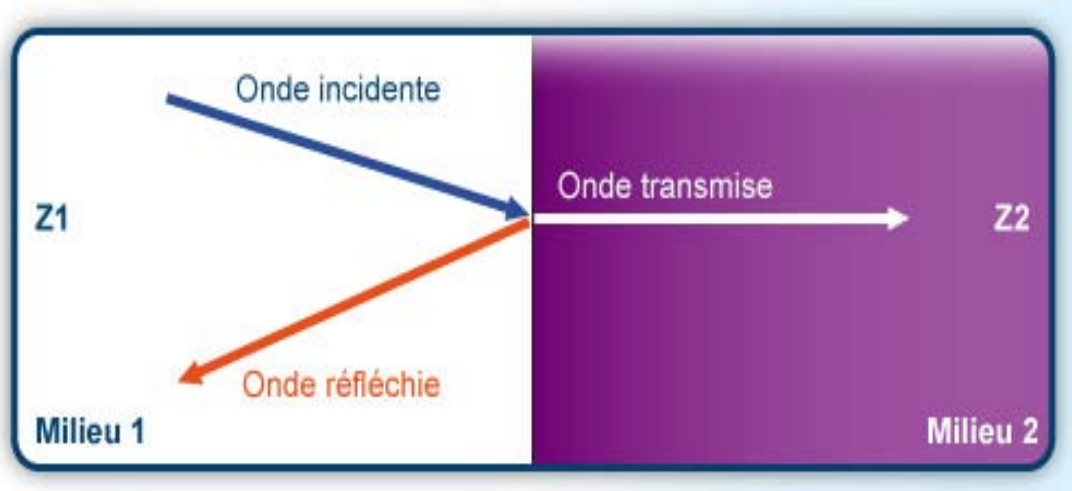


Figure 104. Représentation schématique de l'impédance acoustique. [56]

2- Physiologie de l'oreille externe : [59]

L'OE a une double fonction : une fonction protectrice de l'OM et en particulier de la membrane tympanique, et surtout une fonction d'amplification.

L'OE modifie la perception du champ sonore en amplifiant certaines fréquences mais elle augmente également la directivité en raison de la diffraction des ondes sonores sur l'ensemble du volume crânien et de l'OE, en particulier du pavillon auditif.

L'OE modifie la phase et l'amplitude du signal sonore incident en fonction de l'angle d'incidence et de la fréquence du signal sonore. Ces modifications correspondent à la fonction de transfert de l'OE; chaque structure anatomique contribue à l'établissement de cette fonction (Figures 105 et 106). La Fig. 104 représente la fonction de transfert de l'OE chez l'homme en fonction de la fréquence du son incident et de son azimuth. La Figure 106 rapporte l'amplification apportée chez l'homme par l'OE pour un azimuth de 45° en fonction de la fréquence du son incident. L'amplification maximale est de l'ordre de 20 décibels pour les fréquences comprises entre 2 et 3 kHz. Chez l'homme, l'amplification d'un son dont la fréquence est comprise entre 2 et 6 kHz varie d'environ 20 décibels lorsque l'azimut est compris entre -90° et 90° . La contribution de chaque élément du volume corporel et de l'oreille externe à cette fonction de

transfert globale a pu être étudiée. Le volume corporel (tronc, cou, tête) induit une amplification du son d'environ 10 décibels avec une faible sélectivité fréquentielle. L'auricule permet une amplification avec un gain inférieur à 10 décibels pour les fréquences comprises entre 5 et 6 kHz. Le MAE et la membrane tympanique affectent les fréquences voisines de 2 à 5 kHz.

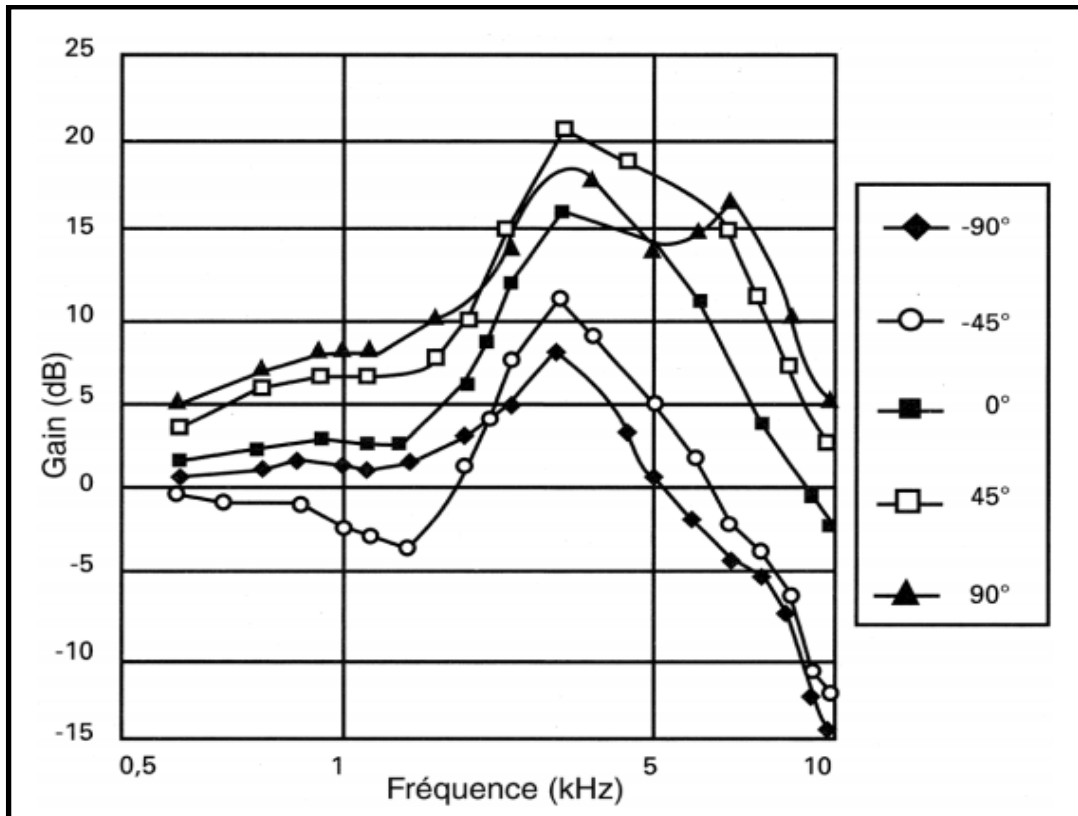


Figure 105. Modification de la pression acoustique induite par le volume corporel et l'OE (mesure au tympan) chez l'homme en fonction de la fréquence du son incident ainsi que de son azimut. [59]

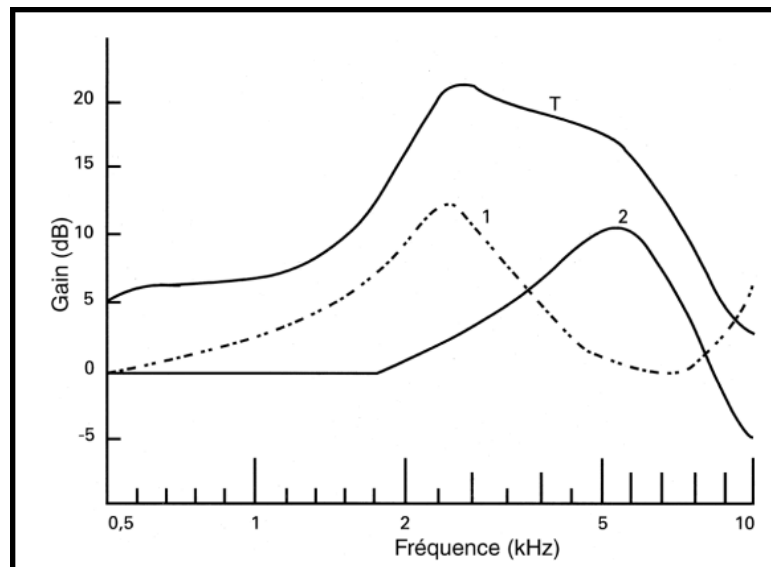


Figure 106. Amplification apportée par l'OE chez l'homme pour un azimuth 45° en fonction de la fréquence du son incident

(T : total, 1 : pavillon, 2 : méat acoustique externe et membrane tympanique). [59]

3- physiologie de l'oreille moyenne :

Le rôle majeur de l'OM est de transformer les vibrations sonores aériennes arrivant contre la membrane tympanique en variations de pressions dans les compartiments liquidiens de l'OI (Figure 107). Une telle transformation impose d'adapter l'impédance entre le milieu extérieur, aérien et le milieu intérieur, cochléaire, liquidien. L'OM a également un rôle de protection vis-à-vis de l'OI. [59]

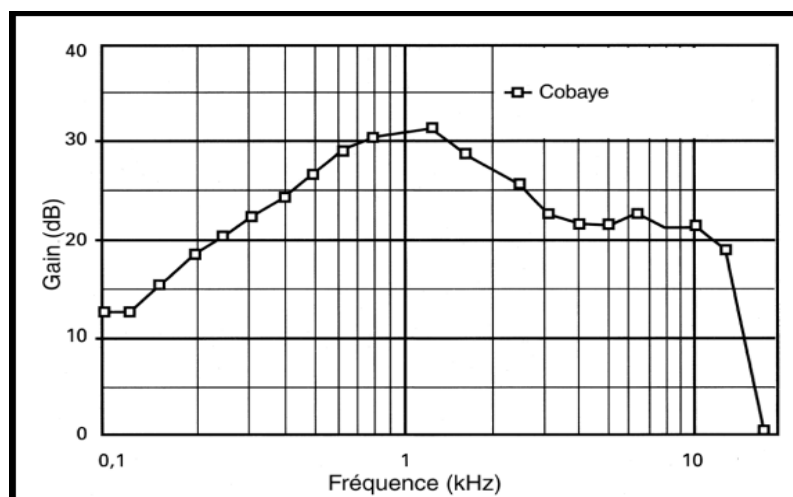


Figure 107. Fonction de transfert de l'oreille moyenne du cobaye à bulle fermée. La référence est le signal mesuré à l'entrée du MAE. [59]

3-1 Le fonctionnement de l'oreille moyenne : [60]

L'OM transmet l'énergie acoustique du tympan à l'OI, en réalisant une **adaptation d'impédance** entre un milieu aérien et un milieu liquidien. Si les vibrations aériennes étaient appliquées directement aux liquides de l'OI, 99,9% de l'énergie acoustique serait perdue par réflexion au niveau de l'interface air-liquide (- 30 dB).

L'OM est un **amplificateur de pression** : de cette manière elle « récupère » l'énergie acoustique disponible dans le milieu aérien et augmente l'amplitude des stimuli mécano-acoustiques dans l'OI. Grâce au rapport des surfaces (~ 20) entre le tympan ($S_1 = 0,6 \text{ cm}^2$) et la platine de l'étrier ($S_2 = 0,03 \text{ cm}^2$), et au rapport des leviers (l'axe de la chaîne ossiculaire passe au voisinage de l'articulation marteau/enclume, mais les deux « bras » de cette chaîne ont des longueurs inégales) ($d_1/d_2 \sim 1,3$), l'amplification théorique de pression atteint un facteur $\times 26$ (soit + 28 dB). (Figure 108)

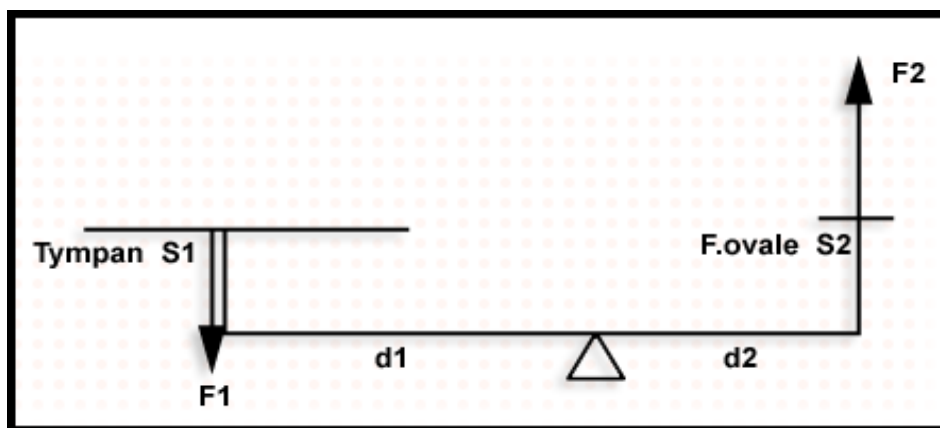


Figure 108. Le mécanisme d'amplification de la pression de l'OM.

3-2 Le réflexe ossiculaire (stapédien)

Lorsqu'un son fort est détecté par la cochlée ($> 80 \text{ dB}$) l'information est transmise aux noyaux du tronc cérébral. Une boucle réflexe commande la contraction de ces muscles (chez l'homme seul le stapédien se contracte). Ceci entraîne une augmentation de la rigidité de la chaîne tympano-ossiculaire, une limitation des déplacements aux fréquences basses et moyennes ($< 2000 \text{ Hz}$) et donc une diminution de l'énergie transmise à l'OI (par contre, ce

réflexe ne protège pas l'oreille aux fréquences élevées). Ce réflexe pourrait jouer un rôle protecteur de l'OM en cas d'impulsion sonore trop forte, avec cependant un effet limité par le temps de réaction, la faible atténuation et des phénomènes de fatigabilité. Le deuxième effet de ce réflexe acoustique serait d'augmenter la sélectivité fréquentielle avec notamment une atténuation plus forte des basses fréquences. Ceci pourrait influencer par exemple l'intelligibilité de sons complexes comme la parole dans le bruit. [60]

3-3 Le rôle de la trompe d'Eustache: [61]

La trompe d'Eustache est un conduit ostéo-cartilagineux comportant une musculature dont la contraction permet de mettre en communication la caisse du tympan avec le pharynx. Ainsi peut être maintenue une équipression entre l'air de la caisse du tympan et l'air du MAE, ce qui est indispensable au bon fonctionnement du tympan. Cette ouverture des trompes d'Eustache se produit notamment lors de la déglutition et du bâillement. Ce mécanisme est essentiel lorsque la pression extérieure varie (ascension en montagne, plongée...). Son altération (par exemple en raison de l'obstruction d'une trompe d'Eustache par des sécrétions muqueuses ou purulentes) entraîne des troubles auditifs et expose à des lésions du tympan.

4- la physiologie de l'oreille interne : [62]

L'OI regroupe 2 organes sensoriels distincts : le vestibule, organe de l'équilibration et la cochlée, organe de l'audition. D'une même origine embryologique (la vésicule otique) ces deux organes partagent aussi d'autres propriétés morphologiques et physiologiques comme le liquide endolymphatique, les cellules ciliées et leurs propriétés de transduction. Dans ce chapitre nous allons traiter le fonctionnement de la cochlée alors que la physiologie de l'équilibre sera traitée ultérieurement.

La cochlée communique avec l'OM par deux orifices fermés par des membranes : la fenêtre vestibulaire qui limite la base de la rampe vestibulaire et sur laquelle s'appliquent l'étrier et la fenêtre cochléaire qui clôt la base de la rampe tympanique et qui sert

d'échappement de pression. La cochlée possède des capacités d'analyse sonore exceptionnelles, aussi bien en fréquence qu'en intensité. Chez l'homme, elle permet d'entendre des sons entre 20 Hz et 20 000 Hz (près de 10 octaves) avec un pouvoir de discrimination de 1/230 octave (= 3 Hz à 1000 Hz). A 1000 Hz, notre cochlée peut coder des pressions acoustiques comprises entre 0 dB SPL (2×10^{-5} Pa) et 120 db SPL (20 Pa).

Lorsque la pression acoustique est transmise aux liquides de l'OI par l'intermédiaire de l'étrier, l'onde de pression va déformer la membrane basilaire en un lieu qui dépend de la fréquence. Les fréquences aiguës agissent à la base de la cochlée et les fréquences graves à l'apex. C'est ce qu'on appelle la tonotopie cochléaire. (Figures 109, 110)

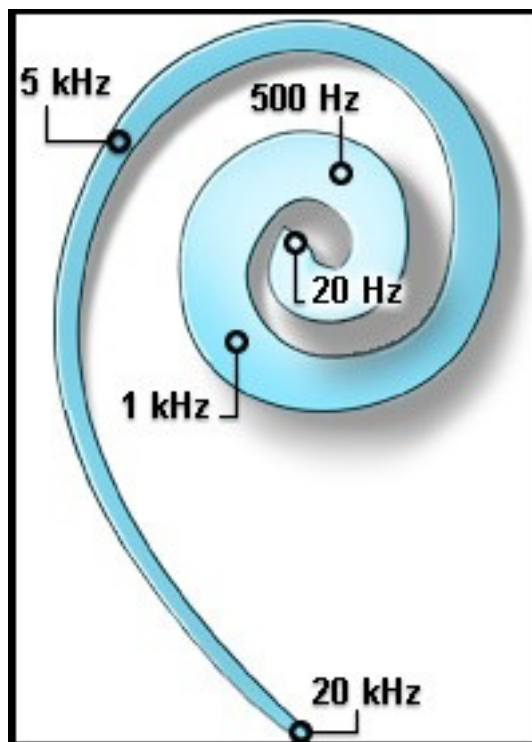


Figure 109. Distribution des fréquences le long de la membrane basilaire d'une cochlée humaine : tonotopie passive.

Quelques fréquences caractéristiques (en kHz) sont indiquées en bleu. Noter le gradient d'élargissement de la membrane basilaire depuis la base (20 kHz) jusqu'à l'apex (20 Hz).

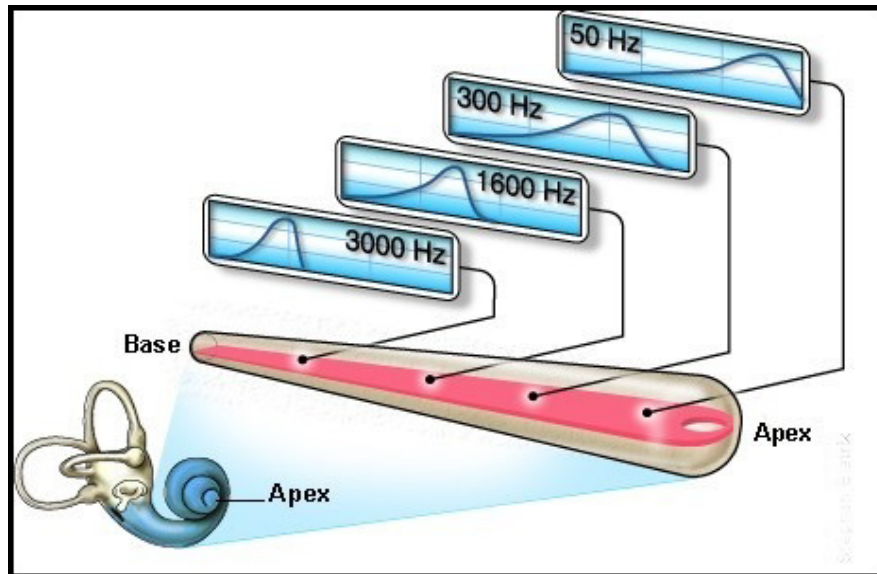


Figure 110. Amplitude des déplacements de la membrane basilaire en fonction de la fréquence de l'onde sonore.

Le fonctionnement de l'organe de Corti, pour un son de faible intensité (parole par exemple) peut schématiquement se résumer en 5 phases :

- (1) Les vibrations sonores transmises à la périlymphe font onduler la membrane basilaire vers le haut et le bas. La tonotopie passive (onde propagée?) mobilise la membrane basilaire de la base (sons aigus) à l'apex (sons graves) de la cochlée.
- (2) Les stéréocils des CCE, implantés dans la membrane tectoriale sont déplacés horizontalement : lorsque la membrane basilaire s'élève, les cils sont basculés vers l'extérieur et la CCE est dépolarisée (entrée des ions K^+).
- (3) Les CCE excitées (dépolarisées) se contractent (électromotilité). Du fait du couplage étroit entre CCE, membrane basilaire et lame réticulaire, ce mécanisme actif fournit de l'énergie amplifiant la vibration initiale ; en même temps il joue un rôle de filtre sélectif (tonotopie active).
- (4) La CCI est excitée, probablement par un contact direct avec la bande de Hensen de la membrane tectoriale.
- (5) La synapse entre CCI et fibre du nerf auditif est activée et un message est envoyé au cerveau.

4-1 Le rôle des CCI :

Lors du passage d'une onde dans la cochlée, la membrane basilaire oscille de haut en bas, et stimule l'organe de Corti : les cils des CCI s'inclinent. Leur inclinaison provoque la tension des liens apicaux qui ouvrent les canaux ioniques. Ceux-ci étant ouverts, les ions K⁺ pénètrent dans la CCI et la parcourent jusqu'à son extrémité inférieure, où ils provoquent l'activation de la synapse du nerf afférent. Celle-ci induit une impulsion bioélectrique dans le nerf, qui la transmet jusqu'au cerveau.

4-2 Le rôle des CCE :

Afin de comprendre le rôle des CCE, il faut préciser le fonctionnement des CCI. En effet, les CCI ne sont pas en contact direct avec la membrane tectoriale, et il faut donc que la membrane basilaire vibre suffisamment pour les mettre en contact et activer le processus de transduction. Cette vibration correspond au passage d'une onde d'au moins 50 dB. En dessous de ce seuil, les CCI ne sont normalement pas stimulées. C'est là que rentrent en jeu les CCE. Ce sont des amplificateurs naturels des vibrations de la membrane basilaire, pour des ondes de moins de 50 dB. Leur fonctionnement est globalement le même que celui des CCI : lorsqu'une onde sonore passe dans la cochlée, les cils des CCE s'inclinent et leur canaux ioniques s'ouvrent.

La différence réside dans le traitement du signal par le cerveau, envoyé après la transduction. En effet, celui-ci va provoquer un réflexe de rétrocontrôle : un nouveau signal électrique sera envoyé aux CCE via leurs nerfs efférents, ce qui provoquera leur contraction. Ce processus est appelé électromotilité.

4-3 En résumé :

La première interface de notre corps qui interagit avec une onde sonore est l'OE. Le pavillon permet d'amplifier et de diriger les sons par diffraction. En effet, lorsque l'onde arrive sur cette partie, ses nombreux replis la diffractent dans de nombreuses directions ce qui permet à une plus grande partie de pénétrer dans le MAE. Au final, l'onde est principalement amplifiée de 10 décibels autour de 5 000 Hertz. Les pavillons permettent aussi de repérer un son dans

l'espace, mais l'homme ne disposant pas de muscle pour les réorienter en fonction de ce repérage, il est généralement traduit par une rotation de la tête ou du corps entier. Le MAE joue un rôle d'amplificateur en permettant à une onde de se réfléchir sur ses parois dont le diamètre diminue au fur et à mesure que l'on s'approche du tympan : de 10 mm à l'entrée à 5mm au niveau du tympan. Au final, l'onde est amplifiée principalement de 10 décibels autour de 2500 Hertz.

Le second intermédiaire entre une onde sonore et notre corps est l'OM. L'onde, qui arrive de l'OE, fait vibrer le tympan plus ou moins vite selon la fréquence du son émis. Il en résulte un mouvement des osselets situés juste derrière qui transmettent la vibration sonore à l'OI par la fenêtre vestibulaire.

Les vibrations des l'étrier sont transmises, au niveau de la fenêtre vestibulaire, au liquide périlymphatique, et les vibrations de celui-ci vont se propager le long de la rampe vestibulaire du limaçon, puis le long de la rampe tympanique et aboutissent finalement à des déformations de la membrane de la fenêtre cochléaire (jeu des fenêtres). Les vibrations du liquide périlymphatique ébranlent la membrane basilaire qui se trouve ainsi animée de mouvements dont l'amplitude, la fréquence et le siège sont responsables de la hauteur et de l'intensité des sons perçus. Les vibrations de la membrane basilaire ébranlent les cellules de soutien qui transmettent ce mouvement aux cellules sensorielles qui se déplacent latéralement par rapport au point fixe qui est la membrane tectoriale : l'amarrage des microvillosités à celle-ci provoque leur déplacement par rapport au corps cellulaire, ce qui provoque la formation de l'influx nerveux. [63]

II. la physiologie vestibulaire :

Le sens de l'équilibre, le système vestibulaire, est un sens qui nous échappe. On ne prend conscience de son existence que dans certaines situations « pathologiques », comme le mal de mer, l'intoxication alcoolique, les vertiges etc. Dans la description classique des cinq sens, la

vision, le goût, l'odorat, le toucher et l'audition, le sens de l'équilibre ne figure point. Très souvent, ce sens n'est considéré que comme une sorte d'appendice rattaché à l'audition, du fait de l'unité anatomique de la cochlée et de l'appareil vestibulaire, qui constitue l'OI. Le sens de l'équilibre peut assurément être considéré comme notre sixième sens, en particulier parce qu'il joue un rôle dans au moins quatre fonctions vitales : le contrôle de la posture, les mouvements réflexes, la perception du mouvement du corps dans l'espace (mouvement propre) et le contrôle autonome [64]. Ce rôle implique que la fonction d'équilibration intègre la notion de plurimodalité sensorielle dont les origines principales sont :

- *Visuelles*, pour nous aider à nous situer dans le décor et nous renseigner sur notre vitesse relative ;
- *Vestibulaires*, pour nous renseigner sur les accélérations tant linéaires qu'angulaires et sur la position de la tête et de son inclinaison par rapport à l'axe gravitaire ;
- *Proprioceptives*, avec notamment les afférences des muscles de la station debout et les muscles profonds du cou pour nous informer à tout moment de la disposition des différents segments du corps les uns par rapport aux autres et des accélérations et tensions qu'ils subissent. [65]

Dans ce chapitre nous allons expliquer le rôle de l'appareil vestibulaire dans l'équilibre.

1. La physiologie des canaux semi-circulaires et des crêtes ampullaires: [64]

Le fonctionnement des CSCs est indépendant de la gravité. Les canaux sont remplis d'endolymphe ; lors d'un mouvement de la tête, un courant endolymphatique est généré. Ce courant infléchit les cils des cellules ciliées qui sont regroupées dans l'ampoule [66,67]. Une des caractéristiques anatomiques macroscopiques remarquables des CSCs est leur configuration tridimensionnelle. L'ensemble des six canaux, trois de chaque côté, forme un système de coordonnées physiques particulièrement adapté à la détection des accélérations angulaires dans l'espace tridimensionnel. De chaque côté de la tête, on trouve un canal horizontal (ou

latéral), et deux canaux verticaux (l'un antérieur, l'autre postérieur) (Figures 111–112). Le canal horizontal est légèrement incliné vers le haut (d'environ 30° chez l'homme) lorsque la tête est en position de repos. Les canaux verticaux sont orientés à environ 45° du plan médio-sagittal du crâne (Figures 111–112).

L'orientation des CSCs suit trois principes fonctionnels indépendants :

- Une symétrie bilatérale, les deux labyrinthes étant en miroir l'un de l'autre ;
- Un mode opératoire réciproque – lors d'une rotation de la tête, les récepteurs d'un canal donné sont excités, et ceux du canal controlatéral coplanaire inhibés – ;
- Une orthogonalité mutuelle des canaux – les angles entre les plans qui les contiennent sont de 90° environ (Figures 111–112). Ainsi, le système canalaire est un système de coordonnées sensorielles intrinsèque qui constitue un cadre spatial pour la coordination de nombreux réflexes et d'interactions sensorielles [68–75].

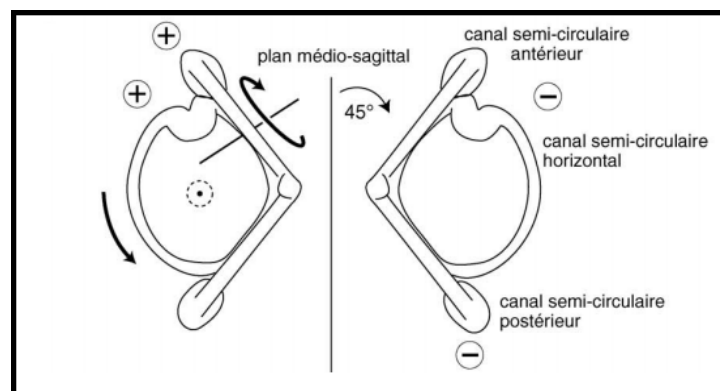


Figure 111. Orientation spatiale idéalisée du système des CSCs (vue de dessus).

Les CSCs antérieur et postérieur sont verticaux, et les CSCs latéraux horizontaux. Les CSCs verticaux sont orientés à 45° du plan médio-sagittal (orientation « diagonale »). Remarquez la symétrie bilatérale, l'orthogonalité deux à deux des différents CSCs et leur mode opératoire en push-pull entre, par exemple, les CSCs postérieur droit et l'antérieur gauche ou entre les CSCs horizontaux droit et gauche. Lorsque l'un des CSCs de la paire est excité (+), le second est inhibé (-). Les directions canalaire préférées sont indiquées par les flèches autour des axes de rotation des canaux. La combinaison des réponses activatrices et inhibitrices des CSCs pendant un mouvement de la tête produit un ensemble de signaux nerveux, qui arrive aux noyaux centraux et qui représente parfaitement le vecteur de mouvement dans l'espace physique [76].

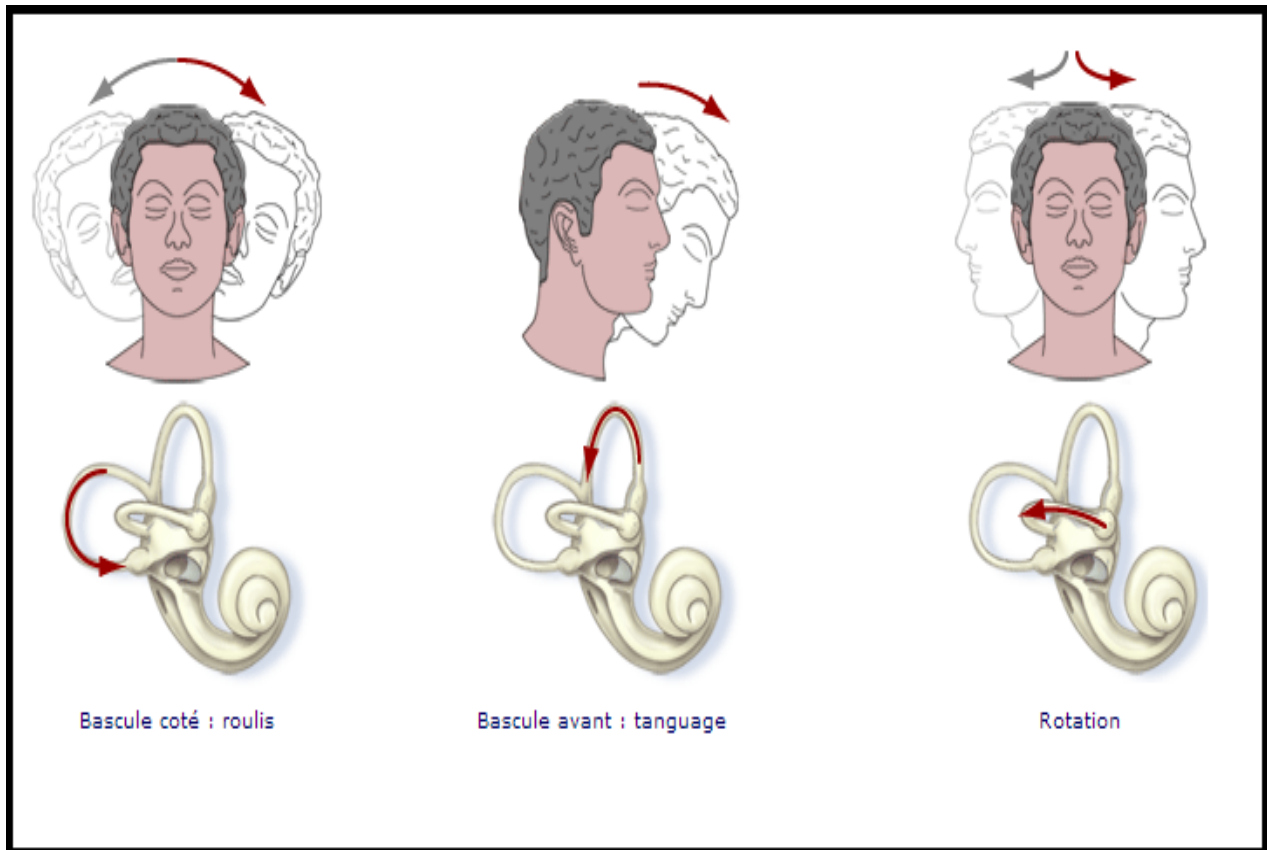


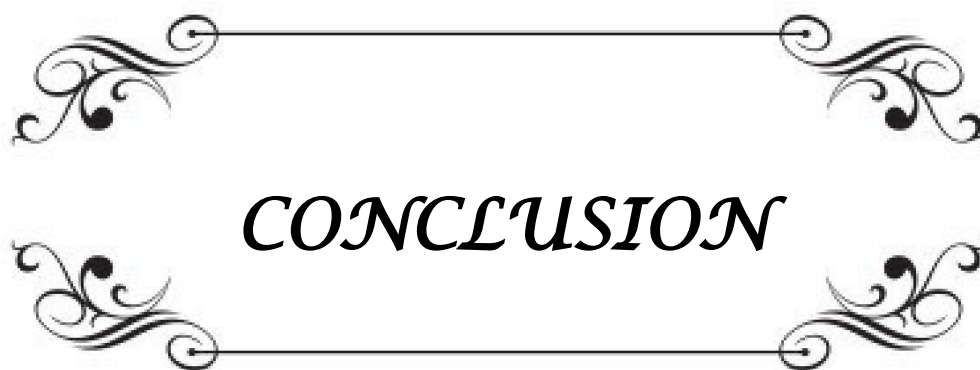
Figure 112. Les trois schémas ci-dessus illustrent le mouvement relatif de l'endolymphe dans les différents canaux du vestibule droit lors de l'accélération angulaire de la tête dans chacun des plans des CSCs. [77]

2. La physiologie des organes et des macules otolithiques : [65]

L'utricule et le saccule sont deux poches en forme de sac, leurs épithélium sensoriel ou macule est constitué de cellules sensorielles ciliées dont l'activité des afférences vestibulaires, la morphologie et la polarisation morphofonctionnelle sont analogues à celles des crêtes ampullaires.

Chaque macule est séparée en deux zones de surface égale par une ligne : la striola. De part et d'autre de la striola, les cellules sensorielles sont orientées de telle sorte que leurs kinocils soient en opposition de polarité, c'est-à-dire de face dans l'utricule et de dos dans le saccule. Un tel arrangement des cellules ciliées maculaires produit des réponses inverses dans

chaque moitié de la macule pour un stimulus donné. Ces stimuli sont principalement les accélérations horizontales pour les récepteurs utriculaires et les accélérations verticales pour les récepteurs sacculaires. Toutefois, la striola étant incurvée et les cellules sensorielles orientées selon des angles différents, les macules ont une sensibilité multidirectionnelle [78]. L'activation des récepteurs otolithiques s'effectue par le glissement de la membrane otoconiale sur la macule, entraînant des forces de cisaillement au niveau de la garniture ciliaire. Si le stimulus est orienté dans l'axe des kinocils, il y a excitation. Un stimulus de sens opposé conduit à une inhibition. Le seuil de détection des déplacements linéaires se situe aux alentours de 0,05 à 0,1 m/s². Lorsqu'une vitesse constante est atteinte, la membrane otolithique reprend sa position initiale de repos grâce à l'élasticité des cils et la force de cisaillement disparaît. L'accélération gravitaire agit en permanence sur les récepteurs maculaires mais elle ne sera prise en compte qu'à l'occasion d'un angle de déplacement des kinocils. Par cette organisation, la perception de la direction des mouvements verticaux est délicate car la stimulation dynamique s'ajoute à l'accélération gravitaire statique. Il s'agit alors de détecter un changement de niveau d'accélération. Dans les déplacements horizontaux, il suffit de détecter un changement de direction d'accélération [79].

A decorative rectangular frame with ornate, symmetrical scrollwork at each corner. The word "CONCLUSION" is centered within the frame in a bold, italicized, serif font.

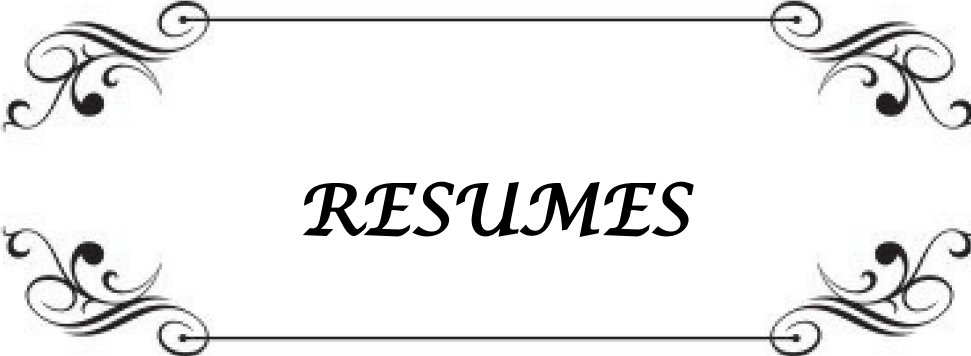
CONCLUSION

En conclusion, l'oreille est un organe complexe contenu dans les cavités de l'os temporal. Elle est composée de trois parties : l'oreille externe, l'oreille moyenne, et l'oreille interne. Elle assure deux fonctions primordiales dans notre vie : l'audition et l'équilibre. La modélisation tridimensionnelle (3D) est de plus en plus utilisée au quotidien en pathologie clinique, elle servira de base pour valider des indices morphométriques et volumétriques qui viendront enrichir nos évaluations diagnostiques et pronostiques.

Pour l'enseignement de l'anatomie, elle constitue un progrès majeur par sa simplicité, par l'efficacité de ses outils interactifs et par sa diffusion aisée.

Dans le domaine de la recherche, la reconstruction 3D vectorielle permet une meilleure appréhension de l'embryogenèse et de la morphogenèse par l'utilisation de la méthode des éléments finis qui permet de nouvelles approches biomécaniques et dynamiques quantifiées.

La compréhension du fonctionnement de l'oreille nécessite une approche multidisciplinaire comprenant à la fois l'anatomie, la physiologie, la neurologie, ainsi que les sciences physiques et informatiques. Ce travail est un puissant outil d'enseignement pour l'apprentissage de l'anatomie complexe de l'os temporal humain et des différentes parties de l'oreille. Il permet de remplacer la morphologie en deux dimensions faite par des coupes histologiques par une anatomie en trois dimensions. La connaissance de l'anatomie de l'oreille et de l'os temporal permettra aux étudiants ainsi que les chirurgiens otorhinolaryngologistes en formation de bien comprendre la pathologie otologique pour effectuer le diagnostic le plus précis possible.



RESUMES

RESUME :

L'oreille est un organe complexe constitué de trois entités : oreille externe(OE), oreille moyenne(OM) et oreille interne(OI). Elle est responsable de l'audition et elle participe au maintien de l'équilibre par son appareil vestibulaire. L'objectif de notre travail, fait en collaboration avec le Laboratoire de Mathématique Appliquée en Informatique de la Faculté des Sciences Techniques de Marrakech, est de montrer le rôle majeur des nouveaux outils informatiques et d'imagerie qui sont disponibles pour l'étude et l'enseignement de l'anatomie morphologique et fonctionnelle de l'oreille et d'enrichir les techniques anatomiques classiques.

Pour le making-up de ce travail, nous nous sommes basés sur des logiciels open-source notamment : HTML5 ; Java script ; CSS ; GIMP ; AMAYA ; Blender 3D, PITIVI, OPENSOT. Les vidéos et les animations que nous avons utilisées sont extraites des sites de université de Aston ainsi que d'autres sites publiques dont : promenade autour de la cochlée, voyage au centre de l'audition... L'enregistrement des commentaires a été fait dans le service audiovisuel de notre prestigieuse faculté. La nomenclature adoptée est celle de la Nomina Anatomica.

L'OE est composée du pavillon et du méat acoustique externe(MAE). Le pavillon est une expansion lamelleuse semi rigide, aplatie transversalement. Il présente une face latérale, un bord libre et une face médiale. Il est constitué d'une charpente fibrocartilagineuse mince et flexible recouverte par un revêtement cutané fin et lisse presque dépourvue de poil. Le MAE est un canal ovalaire aplati d'avant en arrière, étendu depuis le fond de la conque en dehors jusqu'au tympan en dedans.

L'OM est constituée de 3 parties : Les annexes mastoïdiennes en arrière, la caisse du tympan au milieu et la trompe auditive d'Eustache qui rejoint vers l'avant le rhinopharynx. Ces trois éléments se succèdent d'arrière en avant et de dehors en dedans selon un axe de 40° par rapport à l'axe sagittal du crâne, c'est l'axe aérien de l'OM. Cet axe aérien croise au niveau de la caisse un autre axe dit auditif qui traverse les MAE et MAI et qui est perpendiculaire à l'axe sagittal du crâne.

L'oreille interne ou labyrinthe est située au sein du rocher. Elle comporte un ensemble de cavités osseuses ou labyrinthe osseux, contenant des structures tubulaires formant le labyrinthe membraneux.

L'oreille représente l'appareil auditif périphérique. L'oreille externe capte, localise et amplifie les sons, par la suite elle les transmet à l'oreille moyenne. L'oreille moyenne transmet les vibrations sonores à l'oreille interne. L'oreille interne est l'organe de perception. Le système vestibulaire détecte les accélérations angulaires et linéaires de la tête. Les signaux qu'il produit déclenchent des mouvements de la tête et des yeux, afin de maintenir une image visuelle stable sur la rétine, et d'ajuster la posture.

La modélisation 3D est de plus en plus utilisée au quotidien en pathologie clinique, elle servira de base pour valider des indices morphométriques et volumétriques qui viendront enrichir nos évaluations diagnostiques et pronostiques.

ABSTRACT :

The ear is a complex organ composed of three entities: the outer ear (OE), the middle ear (ME) and the inner ear (IE). It is responsible for hearing and it takes part in the maintenance of balance by its vestibular device. The objective of this thesis, prepared with the partnership of the Laboratory of Applied Mathematics and computer sciences of the Technical Science Faculty of Marrakech, is to demonstrate the possibilities that the new computer tools and imagery, which are available to us now, can offer to the study and the teaching of the morphological and functional anatomy of the ear and to the evolution of the classical anatomical techniques.

For the making-up of this work, we used open-source software, in particular: HTML5; Java script; CSS; GIMP; AMAYA; Blender 3D, PITIVI, OPENSOT. The videos and animations which we incorporated are extracted from the sites of the university of Aston, as well as others public websites such as : promenade autour de la cochlée, voyage au centre de l'audition... The recording of the comments was made in the audio-visual service of our prestigious faculty. The adopted nomenclature is that of the Nomina Anatomica.

The OE is made up of the pinna and the external auditory meatus(EAM). The pinna is a semi rigid lamellate expansion, transversely flattened. It presents a side face, a free edge and a lateral face. It consists of a thin and flexible fibro-cartilaginous frame covered by a fine and smooth cutaneous coating almost deprived of hair. The external auditory meatus is a tube flattened in the back, extending from the bottom of the conch outwards to the tympanum inside.

The ME consists of 3 parts: The mastoidian cavities in the back, the drum of the ear in the middle and the Eustachian tube which joins the nasopharynx. These 3 elements follow one another from the backside forward and from the outside in according to an axis of 40° compared to the sagittal axis of skull; it is the air axis of the ME. This air axis crosses on the level of the case another axis known as auditive which crosses the EAM and IAM and which is perpendicular to the sagittal axis of the skull.

The internal ear or labyrinth is located within the rock. It comprises a set of osseous cavities or osseous labyrinth, containing tubular structures forming the membranous labyrinth.

The ear represents peripheral hearing aid. The outer ear collects, locates and amplifies the sounds; thereafter it transmits them to the middle ear. The middle ear transmits the sound vibrations to the internal ear. The inner ear is the body of perception. The vestibular system detects the angular as well as linear accelerations of the head. The signals which it produces result in movements of the head and the eyes, in order to maintain a stable visual image in the retina, and to adjust the posture.

3D modeling is nowadays widely used in clinical pathologies' publications. It does provide us with a strong foundation to validate morphometric as well as volumetric indicators from which, we can improve our diagnostic and prognostic assessments

الملخص

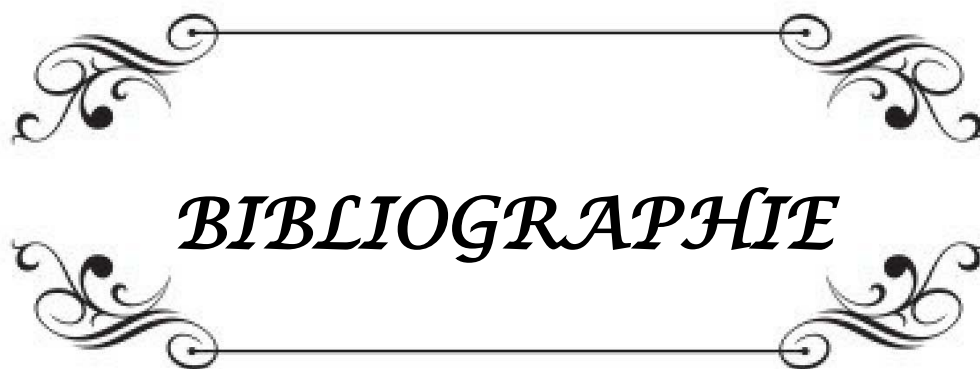
الأذن جهاز معقد يتألف من ثلاث أجزاء: الأذن الخارجية ، الأذن الوسطى و الأذن الباطنية. انها مسؤولة عن السمع وتشارك في الحفاظ على التوازن عن طريق الجهاز الدهليزي.الهدف من عملنا الذي تم إنجازه بالتعاون مع مختبر علم الرياضيات التطبيقية في تكنولوجيا المعلومات لكلية العلوم التقنية بمراكش هو إظهار الدور الهام للأدوات المعلوماتية الجديدة المتوفرة للدراسة و تدريس علم التشريح المورفولوجي والوظيفي للأذن وإثراء تقنيات التشريحية التقليدية.

لقد اعتمدنا في هذا العمل على برامج مجانية منها : OPENSHOT, PITIVI, Blender 3D, JAVASCRIPT AMAYA, CSS HTML5، لقد تم استخراج الفيديوهات والرسوم المتحركة التي استخدمناها من المواقع الإلكترونية لجامعات منها جامعة واستون وغيرها من المواقع العامة مثل : Promenade autour de la cochlée, voyage au centre de l'audition, promenade dans l'équilibre... قمنا بتسجيل التعليقات في مصلحة السمعى البصري لكلية الطب و الصيدلة لمراكش.و اعتمدنا على التسمية الواردة في نوميانا أناتوميكا.

تتكوّن الأذن الخارجية من جزئين هما:الصيوان والنفق السمعى الخارجى. الصيوان هو توسع صفيحي نصف متصلب مصطح عرضا.يتشكل من واجهة جانبية و أخرى داخلية و من حافة حرة ، وهو خال من العظام، ويتكون أساساً من نسيج متين ومرن يُسمى: الغضروف،مغطى بطبقة رقيقة من الجلد. تتكون الأذن الوسطى من ثلاث أجزاء: العظم الحلقي في الجزء خلفي ، الأذن الوسطى في الوسط خلف طبلة الأذن وتحتوي على عظام الأذن الوسطى،وقناة أوستاكي التي تفتح في البلعوم.هذه العناصر تتتابع واحدة تلو الأخرى من الخلف إلى الأمام و من الخارج إلى الداخل حسب محور يكون زاوية ° 40 مع المحور السهمي للجمجمة ، إنه المحور الهوائي للأذن الوسطى. هذا المحور الهوائي يتقاطع على مستوى الأذن الوسطى مع محور آخر يسمى المحور السمعى و الذي يمر من النفق السمعى الخارجى والنفق السمعى الداخلى و الذي يتعامد مع المحور السهمي للجمجمة.

تقع الأذن الباطنية أو المتاهة في الجزء الصخري من العظم الصدغي. إنها تتضمن تجاويف عظمية تسمى التيه العظمي ، و الذي يحتوي على هياكل أنبوبية تشكل التيه الغشائي.

تمثل الأذن جهاز السمع. الأذن الخارجية تلتقط ، تحدد موقع وتضخم الأصوات، ثم تنقلها إلى الأذن الوسطى. الأذن الوسطى توصل الاهتزازات الصوتية إلى الأذن الباطنية التي تمثل جهاز الإدراك السمعي. يكشف الجهاز الدهليزي التسارع الزاوي و الخطي للرأس. الإشارات التي ينتجها تسبب حركات للرأس والعينين، بغية الحفاظ على صورة بصرية مستقرة على الشبكية و تعديل الوضع. يستخدم التجسيم لثلاثي الأبعاد أكثر فأكثر يوميا في علم الأمراض السريرية، فهو سيكون بمثابة أساس للتحقق من صحة القياسات الشكلية والحجمية التي ستعني لدينا التقييم التشخيصي و تحسين النتائج المستقبلية

A decorative frame consisting of a horizontal line at the top and bottom, with ornate, symmetrical scrollwork flourishes at each corner. The word "BIBLIOGRAPHIE" is centered within the frame in a bold, italicized serif font.

BIBLIOGRAPHIE

1. **Thomassin J.-M., Dessi P., Danvin J.-B., Forman C.**
Anatomie de l'oreille moyenne. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Oto-rhino-laryngologie, 20-015-A-10, 2008.
2. **Muren C, Wadin K, Wilbrand H.**
Anatomic variations of the chorda tympani canal. Acta Otolaryngol 1990;110:262-5.
3. **Netter F.**
Atlas d'anatomie humaine. ICON Learning Systems; 1997 (525p).
4. **Sobotta J.**
Atlas d'anatomie humaine. Tome 1. Tête, cou, membres supérieurs. Paris: Éditions Médicales Internationales; 1994 (416p).
5. **Sobotta J.**
Atlas d'anatomie humaine. Tome 4. Nomenclature anatomique française. Paris: Maloine; 1977 (310p).
6. **Testut L, Latarjet A.**
Traité d'anatomie humaine. Tome III. Paris: Doin; 1994 (87p).
7. **Delas B., Dehesdin D.**
Anatomie de l'oreille externe. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Oto-rhino-laryngologie, 20-010-A-10, 2008.
8. **A. Dancer, S. Blatrix, P. Minary**
Extraite du site "Promenade autour de la Cochlée"
http://www.neuroreille.com/promenade/plan_site.htm. Par R Pujol et coll, NeurOreille, Montpellier. Consulté le 11 mars 2013.
9. **F .Legent, L.Perlemuter, C.Vandenbrouck.**
Cahiers d'anatomie d'ORL. 4^{ème} Edition. Masson III.
10. **Rouvière H.**
In : *Anatomie Humaine*. Paris : Masson ; 1940.p.354-62.
11. **Testut J.**
Précis-atlas de dissection des régions. Paris : Octave Doin ; 1921

12. **Ladreit de lacharrière JF.**
Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales. Oreille, vol 17.paris : édition Dechambre ; 1882(191p)
13. **Gray H.**
Anatomy of the human body. Vol 10. Philadelphia : Lea and Febiger ; 1918, Bartleby.com ; 2000.
14. **Bennett SP, Dagash H, McArthur PA.**
The role of the antitragicus muscle in plical folding of the pinna. *Plast reconstr Surg* 2005 ; 115 :1266-8.
15. **Park C, Lineaweaver WC, Rumly TO, Buncke HJ.**
Arterial supply of the anterior ear. *Plast Reconstr Surg* 1992 ; 90 :38-44.
16. **Moschella F, Cordova A, Pirrello R, De Leo A.**
The supra-auricular arterial network: anatomical bases for the use of superior pedicle retro-auricular skin flaps. *Surg Radiol Anat* 2003;24:343-7.
17. **Pinar YA, Govsa F.**
Anatomy of the superficial temporal artery and its branches : its importance for surgery. *Surg Radiol anat* 2006 ; 28 : 248-53.
18. **Lazorthes G**
Le système nerveux périphérique. Paris : Masson ; 1955(152p)
19. **Lippincott Williams and Wilkins 2001**
20. **Bremond GA.**
L'oreille dans le temporal. Anatomie descriptive, topographique et systématisation. Marseille: Solal; 1994 (228p).
21. **Legent F, Perlemuter L, Vandenbrouck C.**
Cahiers d'anatomie ORL. Oreille. 3^{ème} édition. Paris: Masson; 1984 (298p).
22. **Guerrier Y.**
Anatomie à l'usage des oto-rhino-laryngologistes et des chirurgiens cervico-faciaux. Tome 1. Anatomie chirurgicale de l'os temporal, de l'oreille et de la base du crâne. Joué-les-Tours: La Simarre; 1988 (210p).

23. **Savic D, Djeric D.**
Morphological variations and relations of the epitympanum. Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord) 1986;107:61-4.
24. **Rouviere H.**
Anatomie humaine descriptive et topographique. Tome I. Paris: Masson; 1959 (544p).
25. **Duchon-Doris JM.**
Anatomie et chirurgie du rétrotympanum. Intérêt de l'otoendoscopie. [Thèse médecine], Marseille, 1993. 210p
26. **Andrea M, Guerrier M, Paco J.**
La région antérieure de la caisse. 76^e congrès français. Rapport séance, octobre 1979. p. 65-8
27. **Guerrier Y, Andrea M, Paco J.**
Les repères anatomiques du cholestéatome dans la caisse du tympan. Ann Otolaryngol Chir Cervicofac 1980;97:15-28.
28. **Hutterbrink K.**
The fixation theory of middle ear muscle function. Laryngol Rhinol Otol (Stuttg) 1988;67:404-11.
29. **Anson BJ, Donaldson JA.**
Surgical anatomy of the temporal bone. Philadelphia: WB Saunders; 1981 (734p).
30. **Schuknecht HF, Gulya AJ.**
Anatomy of the temporal bone with surgical implications. Philadelphia: Lea and Febiger; 1986 (350p).
31. **Proctor B.**
Surgical anatomy of the ear and temporal bone. New York: Thieme Medical Publishers; 1989 (230p).
32. **Caprio D, Strunski V, Batteur B, Marzuoli L, Porta P, Faure F.**
The attic. Anatomoclinical correlation. Ann Otolaryngol Chir Cervicofac 1994; 111:461-9.
33. **Hoshino T.**
Surgical anatomy of the anterior epitympanic space. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 1988;114:1143-5.

34. **Wigand ME, Trillsch K.**
Surgical anatomy of the sinus epitympani. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1973;82:378–83.
35. **Yamazoba T, Harada T, Nomura Y.**
Observation of the anterior epitympanic recess in the human temporal bone. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1990;116:556–70.
36. **Takasaki K, Takahas H, Miyamoto I, Yoshida H.**
Measurement of angle and length of the Eustachian tube on computed tomography using the multiplanar reconstruction technique. *Laryngoscope* 2007;117:1251–4.
37. **Prades JM, Dumollard JM, Calloc'h F, Merzougui N, Veyret C, Martin C.**
Descriptive anatomy of the human auditory tube. *Surg Radiol Anat* 1998;20:335–40.
38. **Nager GT, Nager M.**
The arteries of the human middle ear with particular regard to the blood supply of the auditory ossicles. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1953;62:923–49.
39. **Michel J, Champetier J.**
Le nerf de Jacobson. Étude anatomique. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac* 1971;88:319–36.
40. **Sauvage JP, Puyraud S, Roche O et Rahman A.**
Anatomie de l'oreille interne. *Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris), Oto-rhino-laryngologie*, 20-020-A-10, 1999, 16 p.
41. **Tpe : influence de la musique sur le corps et l'esprit**
<http://tpepouvoirmusique.e-monsite.com/medias/images/dkjkdj.jpg>
42. **Rask-Andersen H, Stahle J, Wildbrand H.**
Human cochlear aqueduct and its accessory canals. *Ann Otorhinolaryngol* 1977 ; 86 (suppl 42) : 1–16
43. **Takasaka T, Shinkawa H, Hashimoto S, Watanuki K, Kawamoto K.**
High-voltage electron microscopic study of the inner ear. *Ann Otorhinolaryngol* 1983 ; 92 (suppl 101) : 3–12
44. **Harada H.**
The vestibular organs. *SEM Atlas of the inner ear*. Amsterdam : Nishimura Kugler and Ghedini, 1988

45. **S. Blatrix; M. Lenoir, R. Pujol**
Extraite du site "Promenade autour de la Cochlée"
http://www.neuroreille.com/promenade/plan_site.htm. Par R Pujol et coll, NeurOreille, Montpellier. Consulté le 15 mars 2013.
46. **R.Pujol, M.Lenoir, R.Nouvian**
Extraite du site "Voyage au Centre de l'Audition" www.cochlea.org par R Pujol et coll., NeurOreille, Montpellier. Consulté le 15 mars 2013.
47. **Morgon A, Aran JM, Collet L, Dauman R, Fraysse B, Freyss G et al.**
Données actuelles sur la physiologie et la pathologie de l'oreille interne. In : Rapport à la société française d'ORL et de chirurgie cervico-faciale. Paris : Arnette, 1990
48. **David J Lim Ann**
ORL 1984 : 93, 4 supplt 112 part 2, 17-24).
49. **Jean-Yves MONTINET**
MALADIE DE MENIERE, NOUVEAUX DEVELOPPEMENTS
Thèse de Doctorat en Pharmacie, UNIVERSITE DE LORRAINE 2012, pages 33, 34, 35
50. **Benjamin Delprat**
Extraite du site "Voyage au Centre de l'Audition" www.cochlea.org par R Pujol et coll., NeurOreille, Montpellier. Consulté le 16 mars 2013.
51. **P. Roland and J. Rutka,**
Ototoxicity. Hamilton: BC Decker, 2004.
52. **Nguyen Huu, B.Vallée, H.Person**
Schéma d'anatomie faculté de médecine de Brest
53. **Schuknech HF.**
Pathology of the ear. Philadelphia : Lea and Febiger, 1993
54. **Laurent bel.**
Extrait du site <http://laurent.bel.free.fr/Neuroanatomie/Audition/aud10.JPG>; consulté le 08/04/2013.
55. **B. Pidoux**
Psychomotricité-cours neurophysiologie Audition -décembre 2010.

56. **A.Lorenzi, B.Chaix, J.Ducourneau**
" voyage au centre de l'audition" www.cochlea.org par R Pujol et coll., NeurOreille, Montpellier. Consulté le 15 mars 2013.
57. **B. Cédric, D. Simon**
"PHYSIOLOGIE DE L'AUDITION", Université de Technologie Compiègne UTC.
58. **Cap sciences**
" Les sons" extrait du site www.cap-sciences.net/upload/BM_sons.pdf consulté le 23/03/2013.
59. **Nouvian R., Malinvaud D., Van den Abbeele T., Puel J.-L., Bonfils P., Avan P.**
Physiologie de l'audition. EMC (Elsevier SAS, Paris), Oto-rhino-laryngologie, 20-030-A-10, 2006.
60. **A. Dancer, G. Rebillard , P. Minary**
" voyage au centre de l'audition" www.cochlea.org par R Pujol et coll., NeurOreille, Montpellier. Consulté le 15 mars 2013.
61. **A.Pérez-Martin, I . Schuster, Michel Dauzat**
"Exploration de l'audition" Module de Base 6 Travaux Pratiques de PHYSIOLOGIE. Pages 54 -56 Faculté de Médecine Montpellier-Nîmes.
http://www.med.univ-montp1.fr/Enseignement/cycle_1/PCEM2/mod-base/MB6_physio/Ressources_locales/tp/TP_05_Audition_2006A.pdf
62. **Guy Rebillard, Rémy Pujol et Marc Lenoir**
" voyage au centre de l'audition" www.cochlea.org par R Pujol et coll., NeurOreille, Montpellier. Consulté le 15 mars 2013.
63. **M. Lacombe**
Le lacombe : précis d'anatomie et de physiologie humaine, 2 volumes, volume 2.
64. **W. Graf, F. Klam, C. R. Palevol 5 (2006).**
"Le système vestibulaire : anatomie fonctionnelle et comparée, évolution et développement " © 2006 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS.
65. **Roman S et Thomassin JM.**
Physiologie vestibulaire. Encycl Méd Chir (Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris, tous droits réservés), Oto-rhino-laryngologie 20-198-A-10, 2000, 14 p.

66. **W. Graf, Der Gleichgewichtssinn, in: R.F. Schmidt, K. Unsicker (Eds.), Lehrbuch der Vorklinik.**
Teil B: Anatomie, Biochemie und Physiologie des Nervensystems und des Bewegungsapparates, Deutscher Ärzte-Verlag, Cologne, Allemagne, 2003, pp. 207-222.
67. **V.J. Wilson, G. Melvill Jones,**
Mammalian Vestibular Physiology, Plenum Press, New York – London, 1979.
68. **B. Cohen, K. Goto, S. Shanzler, A.H. Weiss,**
Eye movements induced by electric stimulation of the cerebellum in the alert cat, *Exp. Neurol.* 13 (1965) 145-165.
69. **W. Graf,**
Motion detection in physical space and its peripheral and central representation, *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 545 (1988) 154-169.
70. **W. Graf, J.I. Simpson, C.S. Leonard,**
Spatial organization of visual messages of the rabbit's cerebellar flocculus. II. Complex and simple spike responses of Purkinje cells, *J. Neurophysiol.* 60 (1988) 2091-2121.
71. **C.S. Leonard, J.I. Simpson, W. Graf,**
Spatial organization of visual messages of the rabbit's cerebellar flocculus. I. Typology of inferior olivary neurons of the dorsal cap of Kooy, *J. Neurophysiol.* 60 (1988) 2073-2090.
72. **K.-P. Schaefer, D. Schott, D.L. Meyer,**
On the organization of neuronal circuits involved in the generation of the orienting response (visual grasp reflex), *Fortschr. Zool.* 23 (1975) 199-212.
73. **J.I. Simpson, W. Graf,**
Eye muscle geometry and compensatory eye movements in lateral-eyed and frontal-eyed animals, *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 374 (1981) 20-30.
74. **J.I. Simpson, W. Graf,**
The selection of reference frames by nature and its investigators, A. Berthoz, G. Melvill Jones (Eds.), *Adaptive Mechanisms in Gaze Control, Rev. Oculomotor Res.* 1 (1985) 3-16.

- 75. J.I. Simpson, W. Graf, C. Leonard,**
The coordinate system of visual climbing fibers to the flocculus, in: A. Fuchs, W. Becker (Eds), Progress in Oculomotor Research., Developments in Neuroscience. Vol. 12, Elsevier/North-Holland Biomed. Press, New York – Amsterdam – Oxford, 1981, pp. 475-484.
- 76. C.F. Werner,**
Das Gehörorgan der Wirbeltiere und des Menschen, VEB Georg Thieme, Leipzig, 1960.
- 77. Jacqueline Raymond et all.**
"Promenade en équilibre" les récepteurs de l'équilibre
<http://www.neuroreille.com/levestibule>. Consulté le 15 Mars 2013.
- 78. Curthoys IS, Black RA, Goldberg JM, Fernandez C.**
New representations of otolithic primary afferent spatial tuning. A re-processing of the Fernandez and Goldberg (1976) data. Acta Otolaryngol [suppl] 1995 ; 520 : 427-429
- 79. Berthoz A, Droulez J.**
Linear self motion perception. In : Wertheim AH, Wagenaar WA, Leibowitz HW eds. Tutorials on motion perception. London : Plenum Press, 1982 : 157-199

قسم الطبيب

اقسم بالله العظيم أن أراقب الله في مهنتي.

وأن أصون حياة الإنسان في كافة أطوارها في كل الظروف والأحوال بآذلاً

وسعي في استنقاذها من الهلاك والمرض والألم والقلق.

وأن أحفظ للناس كرامتهم، وأستر عورتهم، وأكتم سرهم.

وأن أكون على الدوام من وسائل رحمة الله، بآذلاً رعايتي الطبية للقريب

والبعيد، للصالح والطالح، والصديق والعدو.

وأن أثابر على طلب العلم، أسخره لنفع الإنسان. لا لأذاه.

وأن أوقر من علمني، وأعلم من يصغرنني، وأكون أخاً لكل زميل في المهنة الطبية

متعاونين على البر والتقوى.

وأن تكون حياتي مصداق إيماني في سرّي وعلانيتي، نقيّة مما يشينها تجاه الله ورَسُولِهِ

والمؤمنين.

والله على ما أقول شهيد



تسريح ثلاثي الأبعاد للأذن

الأطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم .../.../2012

من طرف

الآنسة **سكينة هوري**

المزودة في 10 غشت 1988 ببني ملال

لنيل شهادة الدكتوراه في الطب

الكلمات الأساسية :

التسريح - ثلاثي الأبعاد - الأذن - السمع - التوازن

اللجنة

الرئيس

السيد ع. راجي

أستاذ في أمراض الأذن و الأنف و الحنجرة

المشرف

السيد ل. أضرصور

أستاذ مبرز في أمراض الأذن و الأنف و الحنجرة

السيد م. أمين

أستاذ مبرز في علم الأوبئة السريرية

السيد ب. بو عيطي

أستاذ مبرز في أمراض الأذن و الأنف و الحنجرة

السيد ج. عمار

أستاذ مبرز في أمراض الأذن و الأنف و الحنجرة

السيد س. رغاي

أستاذ مبرز في الرياضيات التطبيقية في الإعلاميات

الحكام