

Oreille - Organe de l'Audition

I. Généralités

L'oreille est à la fois un organe auditif et un organe d'équilibration. A chaque fonction correspond une branche du nerf auditif (VIIIème paire de nerfs crâniens) :

- **nerf cochléaire** pour l'organe auditif ;
- **nerf vestibulaire** pour l'organe de l'équilibration.

L'oreille montre 3 parties anatomiquement et fonctionnellement distinctes :

- **l'oreille externe** : où les vibrations sonores sont captées par le **pavillon** et dirigées par le **conduit auditif externe** vers le tympan.
- **l'oreille moyenne** : qui les transmet mécaniquement par le **système tympano-ossiculaire** vers la fenêtre ovale.
- **l'oreille interne** : où les vibrations entraînent des déplacements liquidiens, captés par des récepteurs sensoriels et acheminés vers les centres cérébraux.

II. Rappel anatomique

L'oreille avec ses trois parties est logée à l'intérieur du **rocher du temporal** (à l'exception de l'oreille externe, partiellement constituée d'un "squelette" cartilagineux).

A- Oreille externe

Elle comporte le pavillon, le conduit auditif externe et la face externe du tympan.

1) Pavillon

Il permet de recueillir les sons au niveau de sa partie centrale : la **conque** qui forme une dépression dans laquelle s'ouvre le conduit auditif externe. Cette forme en entonnoir favorise la concentration des vibrations sonores sur le tympan.

Sur le plan histologique, le pavillon est formé par :

- une **lame cartilagineuse** sur laquelle d'insère des ligaments ainsi que des muscles
- une peau fine, lisse, presque dépourvue de poils.

2) Conduit auditif externe

En forme de tube mesurant environ 2,5 cm de long, il est revêtu d'une peau fine avec :

- un épithélium **malpighien kératinisé** ;
- des **glandes sébacées** annexées aux poils et des **glandes cérumineuses** (sudoripares) dont la sécrétion, grasse et cireuse se mêle au sébum pour donner un enduit pigmenté, le **cérumen**.

3) Tympan

Fine membrane dont :

- la face externe appartient au conduit auditif externe ;
- la face interne participe à la paroi de l'oreille moyenne.

Du point de vue structure, le tympan offre à décrire de dehors en dedans :

- un épithélium externe : malpighien kératinisé, totalement dépourvu d'annexes ;
- une partie centrale : conjonctive avec des fibres de collagène disposées en deux couches :
 - une couche interne faite de fibres circulaires ;
 - une couche externe faite de fibres radiaires.
- un épithélium interne : pavimenteux simple (l'épithélium tympanique).

B- Oreille moyenne

Elle comporte :

- une cavité centrale creusée dans l'os temporal : la **caisse du tympan** ;
- le **système tympano-ossiculaire**.

1) Caisse du tympan

Revêtue d'une muqueuse de type tympanique, la caisse du tympan montre l'ouverture à son niveau :

- en arrière, de l'**antre mastoïdien** et des **cellules mastoïdiennes** et
- en avant, de la **trompe d'Eustache** : qui fait communiquer la caisse du tympan avec le pharynx, permettant aux cavités de l'oreille moyenne d'être remplies d'air. Ceci fait que les pressions exercées sur les deux faces du tympan sont égales (pression atmosphérique).

La paroi interne osseuse est percée de deux orifices, mettant l'oreille moyenne en contact de l'oreille interne :

- la **fenêtre ovale** : est obturée par une plaque osseuse mobile, la platine de l'étrier ;
- la **fenêtre ronde** : est, elle, fermée par une membrane souple.

2) Système tympano-ossiculaire

Cette chaîne de trois osselets articulés (avec de dehors en dedans : le marteau, l'enclume et l'étrier) :

- traverse la caisse du tympan et relie le tympan à la fenêtre ovale ;
- est maintenue sous tension par deux muscles : le *tensor tympani* et le *stapédius* ;
- permet la transmission des mouvements vibratoires du tympan à l'oreille interne en les amplifiant.

C- Oreille interne

L'oreille interne est constituée de plusieurs cavités :

- creusées dans l'os temporal, formant ainsi le **labyrinthe osseux** ;
- renfermant un ensemble complexe de canaux : le **labyrinthe membraneux**.

L'axe du labyrinthe membraneux est occupé par les **espaces endolymphatiques** :

- où se trouvent les **formations sensorielles** (pour l'audition & l'équilibration) ;
- renfermant l'**endolymphe**, à teneur élevée en potassium et faible en sodium.

L'endolymphe est sécrétée par la strie vasculaire de la cochlée et éliminée par le canal endolymphatique (ou aqueduc du vestibule) qui s'étend jusqu'au contact des espaces sous-arachnoïdiens, en formant à sa terminaison une vésicule aplatie, le sac endolymphatique.

Entre les espaces endolymphatiques et l'os, s'interposent les **espaces périlymphatiques**, remplis d'un liquide de composition identique au liquide céphalo-rachidien, riche en ions sodium et pauvre en potassium : la **pérlimpe**,

La portion centrale du labyrinthe membraneux, ou **vestibule**, est divisée en deux chambres, l'**utricule** et le **sacculle** :

- l'utricule émet trois formations dorsales, les **canaux semi-circulaires** ;
- du sacculle naît une expansion ventrale spiralée, la **cochlée** ou limaçon, organe de l'audition.

N.B.: *Le vestibule et les canaux semi-circulaires représentent l'organe de l'équilibration (ou appareil vestibulaire, Voir plus bas Oreille – Organe de l'équilibration).*

III. Structure de la cochlée

A- Organisation générale

La cochlée, partie du labyrinthe, comporte :

- un squelette : le **limaçon osseux** ;
- des formations cellulaires et conjonctives : le **limaçon membraneux**.

Elle est constituée par :

- un axe osseux : la **columelle** autour duquel s'enroule en spirale (un peu plus que deux tours et demi) ;
- un tube osseux : la **lame des contours**.

La lame des contours est longitudinalement divisée en deux compartiments (**rampe tympanique** en bas et **rampe vestibulaire** en haut) par une **lame spirale osseuse** qui se prolonge en dehors par la **membrane basilaire**. Cette dernière supporte le **canal cochléaire** et se fixe sur la lame des contours par le biais du **ligament spiral**.

Rampe tympanique et rampe vestibulaire appartiennent aux espaces périlymphatiques et communiquent entre eux par un petit orifice situé au sommet de la cochlée : l'**hélicotrème**. Le canal cochléaire (espace endolympatique) contient l'**organe de Corti** (ou organe spiral) où se trouvent les cellules réceptrices de l'audition.

B- Canal cochléaire

De forme triangulaire en coupe transversale, le canal cochléaire est isolé :

- en bas : de la rampe tympanique (par la membrane basilaire en dehors et la lame spirale osseuse en dedans) ;
- en haut : de la rampe vestibulaire (par la membrane de Reissner) ;
- en dehors : du ligament spiral (par la strie vasculaire qui contient de nombreux capillaires intra-épithéliaux et qui sécrète l'endolymphe).

C- Organe de Corti

Il occupe la partie médiane du plancher du canal cochléaire et **suit l'enroulement spiralé de la membrane basilaire** jusqu'au niveau du sommet de la cochlée. Il est bordé :

- en dedans : par le limbe spiral dont il est séparé par le sillon spiral interne, revêtu de cellules prismatiques. Le limbe spiral désigne une couche tissulaire épaisse née du périoste de lame spirale osseuse.
- en dehors : par la strie vasculaire dont il est séparé par le sillon spiral externe.

La membrane de Reissner s'attache par son bord interne sur le limbe spiral, dont l'épithélium donne naissance à la **membrana tectoria**, structure fibreuse :

- géliforme (richesse en protéoglycanes), très hydratée, acellulaire ;
- dont la partie externe repose sur le pôle apical des cellules de l'organe de Corti, mais il semble que seuls les stéréocils les plus longs des cellules ciliées externes lui soient liées.
- perforée de fins canalicules qui serviraient à la circulation de l'endolymphe.

L'organe de Corti est centré par le **tunnel de Corti**, triangulaire en coupe transversale et bordé par une rangée de **piliers externes** et une autre de **piliers internes**.

Ces piliers sont des **cellules de soutien** contenant dans leur cytoplasme un volumineux trousseau de microfilaments d'actine F.

De part et d'autre de ce tunnel, se disposent les rangées de **cellules sensorielles ciliées** : les **cellules auditives**, soutenues par les **cellules de Deiters**.

La cellule de Deiters repose par son pôle basal sur la membrane basilaire, tandis que sa partie supérieure :

- enveloppe la base des cellules sensorielles et les terminaisons nerveuses adjacentes ;
- envoie un long prolongement dont l'extrémité supérieure aplatie ("**phalange**") contribue à former avec ses homologues et les phalanges des piliers, la **membrane réticulaire** qui enserre et maintient en place le pôle apical des cellules sensorielles.

Les cellules auditives présentent une architecture générale commune avec quelques critères distinctifs, résumés dans le tableau suivant :

	Cellules ciliées internes (CCI)	Cellules ciliées externes (CCE)
Nombre	≅ 3500 cellules	≅ 12000 cellules
Disposition	piriformes	cylindriques
Pôle apical	forme une table épaissie : la cuticule de laquelle émergent : 2 rangées de stéréocils formant une courbe très ouverte à concavité interne	forme là aussi la cuticule, de laquelle de émergent : 3 ou 4 rangées de stéréocils formant un W ouvert à pointe externe
Réticulum lisse sous-membranaire	peu développé (1 seule couche)	très développé (plusieurs couches)
Pôle basal	terminaisons nerveuses (afférentes et efférentes)	

IV. Histophysiologie

A- Mécanisme de l'audition

Les vibrations sonores mettent en mouvement le tympan et la chaîne des osselets. Elles sont ainsi transmises amplifiées à la fenêtre ovale.

Les mouvements de l'étrier engendrent de fortes variations de pression dans la rampe vestibulaire. Elles parviennent affaiblies dans la rampe tympanique et s'amortissent contre la fenêtre ronde, aisément déformable.

L'inégalité des pressions sur les deux faces de la membrane basilaire entraîne un déplacement de celle-ci et donc de l'organe de Corti qu'elle supporte.

Il se produirait alors des flexions des stéréocils des cellules sensorielles provoquant la pénétration d'ions K⁺ et Ca⁺⁺ (ouverture de canaux ioniques) et par suite :

- l'apparition d'un potentiel membranaire,
- une transmission synaptique à la base de la cellule sensorielle et
- un potentiel d'action dans les fibres nerveuses du VIII.

B- Voies nerveuses auditives

La cochlée est innervée par :

- 30 000 neurones afférents : destinés au système nerveux central et dont le péricaryon est situé dans le ganglion spiral de Corti (95% de ces fibres sont destinées aux CCI et seulement 5% aux CCE).
- seulement un millier de fibres efférentes.

Les cellules ganglionnaires auditives forment le **nerf cochléaire** qui se joint au nerf vestibulaire (issu du ganglion de Scarpa) pour constituer le nerf auditif, VIIIème paire crânienne.

Les voies auditives font relais dans le bulbe, puis le thalamus (corps genouillé interne) et se projettent enfin sur le cortex temporal.

Oreille – Organe de l'équilibration

I. Rappel sur l'organisation générale de l'oreille interne

Voir *Oreille – Organe de l'Audition, Paragraphe II-C*. Le **vestibule** avec ses deux chambres (le **sacculé** et l'**utricle**) et les **canaux semi-circulaires** constituent l'**organe de l'équilibration** (ou appareil vestibulaire), fonction qu'ils assurent grâce aux zones sensorielles qu'ils présentent. Ces dernières se nomment **récepteurs vestibulaires**.

II. Récepteurs vestibulaires

A- Macules vestibulaires

Ces plages sensorielles se localisent au niveau de l'utricle et du sacculé. Elles sont constituées :

- d'un massif épithélial haut comprenant des **cellules sensorielles vestibulaires** de type I et de type II, dispersées au sein ;
- d'une couche de **cellules de soutien**.

Chaque macule est surmontée par une "membrane" exocellulaire épaisse : la **membrane otolithique**. Il s'agit d'une couche de substance gélatineuse fondamentale contenant :

- des faisceaux de fines fibrilles et
- dans sa zone superficielle, des cristaux de carbonate de calcium : les **otolithes** (ou statoconies).

La membrane otolithique repose par sa face profonde sur les stéréocils apicaux des cellules sensorielles.

1) Cellules sensorielles vestibulaires

Seule la microscopie électronique permet d'identifier les deux types de cellules sensorielles, à partir essentiellement de leur forme et leur innervation.

a. Cellules de type I

En **forme de vase**, elles présentent :

- une base arrondie : située à distance de la membrane basale, elle contient le noyau (rond). Le cytoplasme de ces cellules est riche en mitochondries et en réticulum endoplasmique lisse à forme souvent vésiculaire.
- une zone apicale : elle présente d'abord un étranglement puis se dilate en surface, supportant une plaque cuticulaire dans laquelle plonge les racines de 60 à 80 **stéréocils**. Cette cuticule dégage un "pore cuticulaire", siège d'un véritable **cil vibratile** qui pénètre en profondeur dans la membrane otolithique et à partir duquel les stéréocils sont disposées en rangées, de taille décroissante.

b. Cellules de type II

Elles sont plus hautes que les précédentes et sont de forme régulièrement cylindrique. Leurs caractères cytologiques restent pratiquement communs aux cellules précédentes :

- stéréocils à base étroite au pôle apical ;
- présence d'un cil ou d'un résidu ciliaire sous forme d'un corpuscule basal ;
- contacts avec des terminaisons nerveuses afférentes ;
- entourage intime par des cellules de soutien.

c. Différence essentielle entre ces deux cellules : leur mode d'innervation

Les cellules de type I sont enchâssées (jusqu'à la région cuticulaire pratiquement) dans **un calice nerveux** qui correspond à la terminaison dendritique d'une cellule du ganglion de Scarpa, lequel se situe dans le conduit auditif interne.

Les cellules de type II, montrent, au niveau de leur portion basale, des **boutons synaptiques dispersés** de fibres afférentes (venant du ganglion de Scarpa) mais aussi de fibres efférentes.

2) Cellules de soutien

De forme très irrégulière, elles entourent les cellules sensorielles et reposent sur la membrane basale. Les cellules de soutien sont liées entre elles ainsi qu'aux cellules sensorielles par des complexes de jonction.

B- Crêtes ampullaires

1) Morphologie

Chaque canal semi-circulaire possède à l'une de ses bases d'implantation sur l'utricule une dilatation : **l'ampoule**. L'endoste qui tapisse cette ampoule s'invagine, formant un repli disposé perpendiculairement à l'axe de l'ampoule : la **crête ampullaire**. L'on compte donc 3 crêtes ampullaires, une dans chaque canal semi-circulaire.

2) Structure histologique

Elle est semblable à celle de la macule sauf que la cupule (analogue de la membrane otolithique des macules) ne contient pas d'otolithes. La cupule :

- comporte une masse gélatineuse riche en glycosaminoglycane avec un réseau fibrillaire ;
- est creusée de canaux dans lesquels s'enfoncent les stéréocils.

III. Histophysiologie du vestibule

A- Nature du stimulus sensoriel

Les enregistrements des potentiels cellulaires montrent que les cellules sensorielles vestibulaires ont une activité continue spontanée (potentiel d'action de base). Cette dernière :

- s'accroît lorsque les stéréocils sont inclinés en direction du kinétocil (cil vibratile) ;
- diminue lorsque l'inclinaison se fait dans le sens opposé.

B- Cellules maculaires

Elles sont mises en jeu par les accélérations linéaires : la membrane otolithique, alourdie par les statoconies, possède une inertie qui, lors de l'accélération, entraîne un mouvement de cisaillement des stéréocils disposés au pôle apical des cellules réceptrices.

a. Macule utriculaire

Elle réagit aux accélérations dirigées dans un plan horizontal (lorsque la tête est verticale).

b. Macule sacculaire

La macule sacculaire est sensible aux accélérations linéaires verticales, y compris la pesanteur.

C- Crêtes ampullaires

Elles sont stimulées par les accélérations angulaires qui provoquent un mouvement de l'endolymphe dans le canal. Il s'ensuit une déformation de la cupule qui provoque l'inclinaison des stéréocils.

En conclusion : Les deux macules ainsi que les crêtes ampullaires, stimulées simultanément, renseignent sur la position de la tête dans l'espace.

D- Quelques précisions

Pour toutes les cellules sensorielles, la réception de l'information est secondaire à un mouvement affectant les stéréocils.

La plupart des mouvements auxquels est soumise la tête sont des combinaisons d'accélération linéaires et rotatoires.

L'intégration des informations transmises par le système vestibulaire au travers de la VIIIème paire de nerfs crâniens est faite au niveau du système nerveux central.

E- Voies nerveuses vestibulaires

Les fibres afférentes des récepteurs vestibulaires ont leur corps cellulaire dans le ganglion vestibulaire. Les axones forment le nerf auditif en commun avec les fibres du nerf cochléaire. Le premier relais se fait dans les noyaux vestibulaires bulbaires.

De là, naissent des voies multiples se dirigeant vers la moelle épinière, la substance réticulée, les noyaux oculomoteurs, le cervelet, le thalamus. Ceci explique l'importance et la variété des réflexes vestibulaires.

Zones de réception sensorielle vestibulaire et auditive de l'oreille interne			Nerfs sensoriels qui en partent
Nom	Structure	Localisation	
Macules	<ul style="list-style-type: none"> - Cellules sensorielles vestibulaires I et II - Cellules de soutien - Membrane otolithique 	Utricule Saccule	Nerf vestibulaire (équilibre)
Crêtes ampullaires	<ul style="list-style-type: none"> - Cellules sensorielles vestibulaires I et II - Cellules de soutien - Cupule 	Ampoule du canal semi-circulaire externe Ampoule du canal semi-circulaire supérieur Ampoule du canal semi-circulaire postérieur	
Organe de Corti	<ul style="list-style-type: none"> - Cellules sensorielles auditives - Cellules de soutien - Membrana tectoria 	Canal cochléaire	Nerf cochléaire (audition)

Tableau récapitulatif des zones sensorielles de l'oreille interne