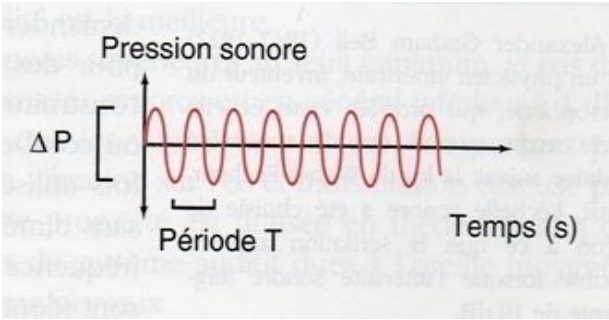
Faculté de Médecine d'Oran
Deuxième année médecine – Physiologie
Dr Sellam

Audition

I. Introduction : l'organisme humain est placé dans un environnement émetteur des sons de différentes natures, comme par exemple : le son musical, le son de la parole, le bruit. Et pour survivre et communiquer dans ce milieu, il utilise un système spécialisé dans la détection des sons ou « audition », qui est le système auditif, qui est composé: d'un organe de l'audition qui est l'oreille, elle assure la conduction et l'amplification des ondes sonores, et la naissance d'un signal électrique ou l'information auditive, et des voies auditives, dont le point de départ est le nerf auditif, elles servent à conduire l'information auditive de l'oreille jusqu'au centre supérieur : tronc cérébral – thalamus – cortex cérébral.

II. Bases biophysiques du son :

1. Définition du son : le son est constitué par des ondes sinusoïdales qualifiées de sonores à caractère propagé (de proche en porche) dans un milieu (gazeux, liquide), qui correspondent d'un de vue physique à des vibrations mécanique d'un milieu élastique: gazeux, solide, liquide (quand on jette un caillou dans l'eau), évoluant sous forme d'une variation de la pression de ce milieu en fonction du temps, de sorte que lorsqu'elle se déplaçant dans un sens, il se produit une compression et dans l'autres une dilatation.

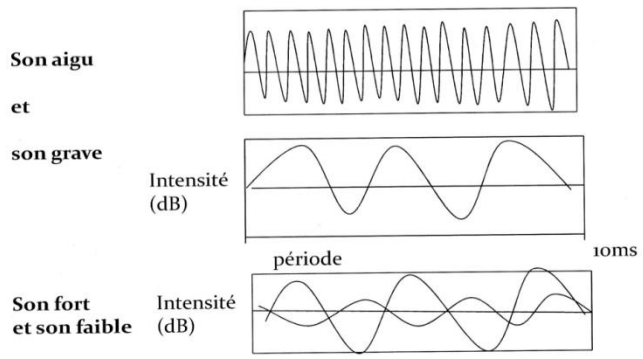


2. Les caractéristiques du son : Les ondes sonores se caractérisent par trois phénomènes principaux :

La fréquence ou nombre de vibration par seconde exprimée en Hz, définit les sons aigus et graves.

L'intensité ou amplitude du son exprimée en dB définit les sons forts et faibles.

Le spectre audible : l'homme peut détecter des sons dans une gamme de fréquence allant d'environ de 20Hz à 20KHz



III. <u>Etude anatomo-histologique de l'oreille</u> : l'oreille humaine comporte trois parties : l'oreille externe, l'oreille moyenne, et l'oreille interne ou la cochlée.

L'oreille externe : comporte le pavillon, la conque, et le conduit auditif externe (CAE).

L'oreille moyenne : cavité dite caisse du tympan, à la limite supérieure du conduit auditif externe se situe le tympan qui est une membrane. Entre le tympan et la cochlée s'étend la chaine des osselets : le marteau, l'enclume, l'étrier.

L'oreille interne : l'organe auditif ou la cochlée, en forme spiralé.

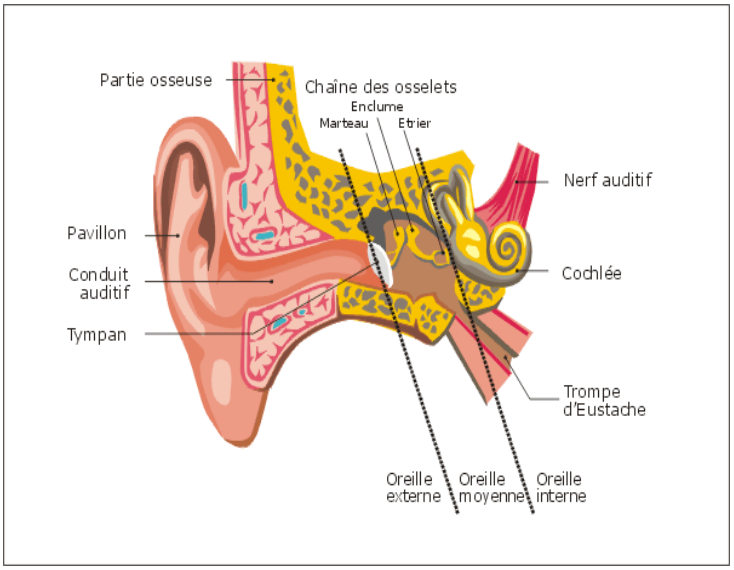
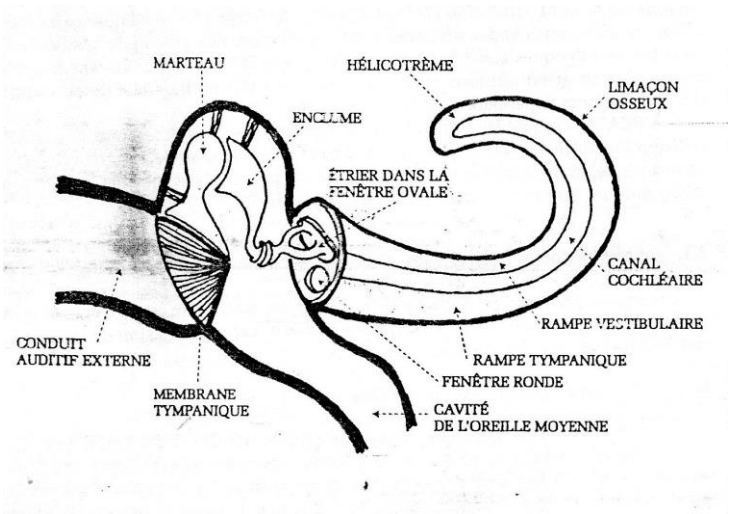
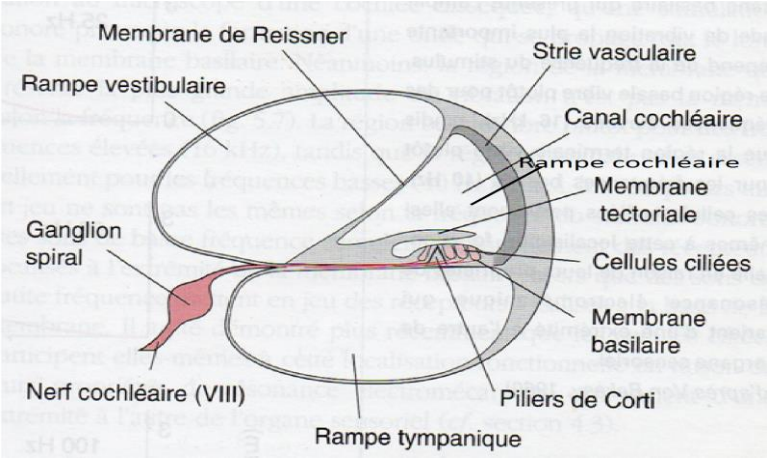


Schéma d'une cochlée étalée expérimentalement, apparait sous forme d'un tube ou canal continue, qui présente un pole basal et apical. La cochlée s'ouvre sur l'oreille moyenne par deux orifices : la fenêtre ovale obturée par l'étrier, et la fenêtre ronde obturée par une membrane.

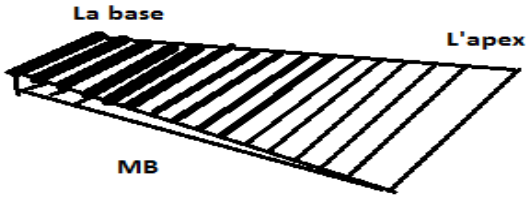
La cochlée se montre constituée de deux rampes (compartiments liquidiens) : la rampe vestibulaire et la rampe tympanique, délimitant un canal cochléaire rempli d'un troisième compartiment liquidien : rampe cochléaire. A noter que la rampe vestibulaire communique avec la rampe tympanique au niveau d'un orifice qui siège au pole apical de la cochlée appelé l'hélicotrème.



En coupe transversale à n'importent quelle niveau à la base ou au sommet, permet de visualiser le deux rampes (compartiments liquidiens) : la rampe vestibulaire et la rampe tympanique, ces deux rampes appartiennent à l'espace périlymphatique riche en Na^+, pauvre en K^+. Entre les deux rampes se trouve le canal cochléaire contient la rampe cochléaire, appartienne à l'espace endolymphatique riche en K^+ , pauvre en Na^+, séparé des autres espaces par la membrane de Reissner et la membrane basilaire (MB).



La MB est étroite à la base et s'élargit progressivement au fur et à mesure qu'on se rapproche de l'apex, elle est plus épaisse et plus rigide à la base qu'à l'apex.

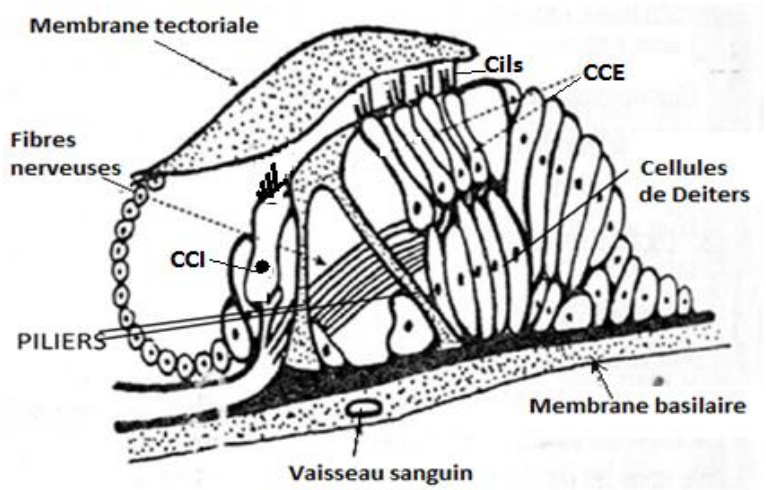


Sur cette MB se situe l'organe de corti. L'organe de corti, comporte les cellules réceptrices qui sont des mécanorécepteurs, ciliées, séparées en : cellules ciliées externe (CCE) et cellules ciliées internes (CCI). Au dessus des cellules ciliées s'étend la membrane tectoriale (MT), qui est une membrane fibreuse et gélatineuse.

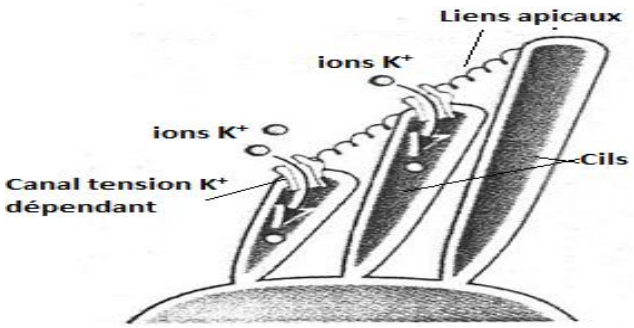
Les CCI : elles forment qu'une seule rangée, en nombre de 3500, elles reposent directement sur la membrane basilaire, elles ont un corps ovoïde, leurs surfaces supérieures comportent des cils ou stéréocils, qui ne sont pas d'égale longueur, les plus longs se situent du coté externe près des piliers, les plus courts du coté interne.

Les CCE : elles forment 3 à 5 rangs, en nombre de 12000 à 19000, elles reposent sur les cellules de Deiters, elles ont un corps cylindrique, elles comportent des cils. Les cils les plus long se trouvent également du coté externe.

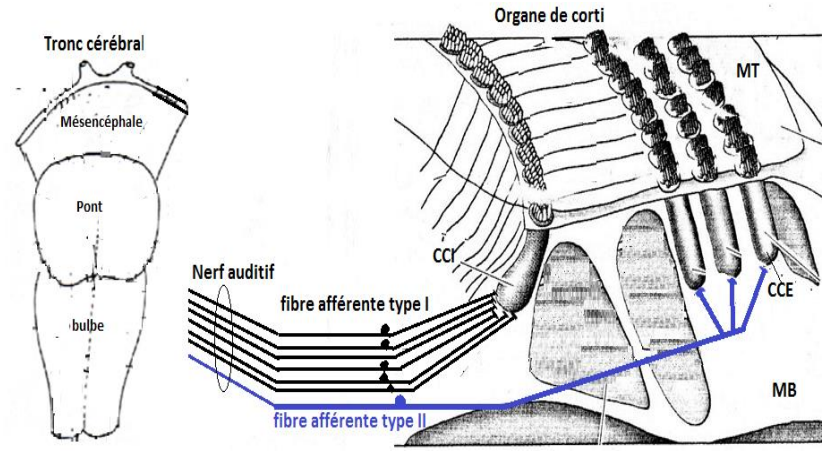
A noter que les cils les plus long des CCE sont implantés directement dans la membrane tectoriale. Alors que les cils des CCI n'ont pas de contact direct avec celui-ci (ils sont espacés).



Les Cils (CCE-CCI) sont reliées entre eux au niveau de leurs extrémités par des structures filamenteuses appelées les liens apicaux (du cils plus court vers le plus long). ces structures s'attachent sur les canaux ioniques **K^+** tension dépendant membranaires (qui s'ouvre par l'étirement des liens apicaux).

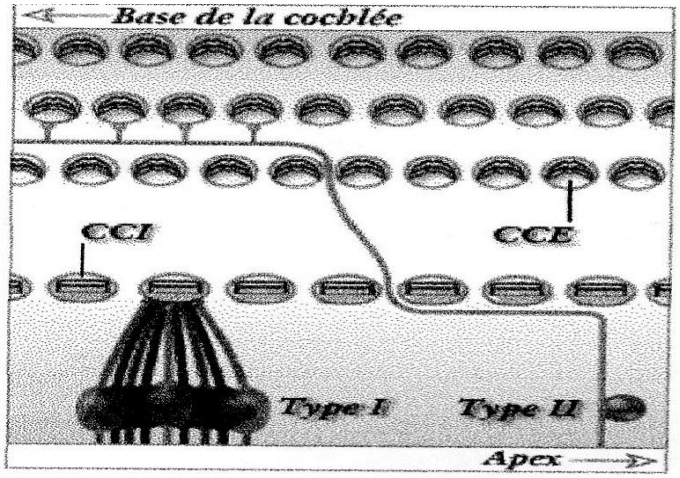


<u>Innervation de la cochlée:</u> le nerf auditif composante principale du nerf VIII, est formé par des fibres nerveuse afférente à direction centrale vers le tronc cérébral, chaque fibre constitue un prolongement central d'une cellule bipolaire qui siège dans le ganglion spiral de la cochlée (plus près de la cochlée), chaque cellule émet également un prolongement périphérique qui innerve une ou plusieurs cellules ciliées.



Les CCI sont innervées par environ 95% des fibres afférentes, ce sont des fibres de type I à prolongement ascendant myélinisé, chaque cellule serait en rapport avec environ 20 fibres indépendantes, ce qui constitue une organisation récepteur – centre de type divergent. Est c'est par là que partent tous les messages auditifs vers le cerveau. le médiateur chimique des synapses CCI-fibre afférente est l'acide glutamique, qui est un acide aminé excitateur.

Les CCE reçoivent 5% des fibres afférentes, ce sont des fibres de type II à prolongement ascendant amyélinisé, chaque fibre innerve 10 CCE environ, le dispositif d'innervation des CCE est convergent.



IV. Données physiologiques :

A. Etape d'acquisition : L'oreille externe et moyenne assure la transmission et l'amplification des ondes sonores. L'oreille interne assure la transduction (électro-mécanique) des ondes sonores et la naissance de l'influx nerveux.

1. Phase aérienne :

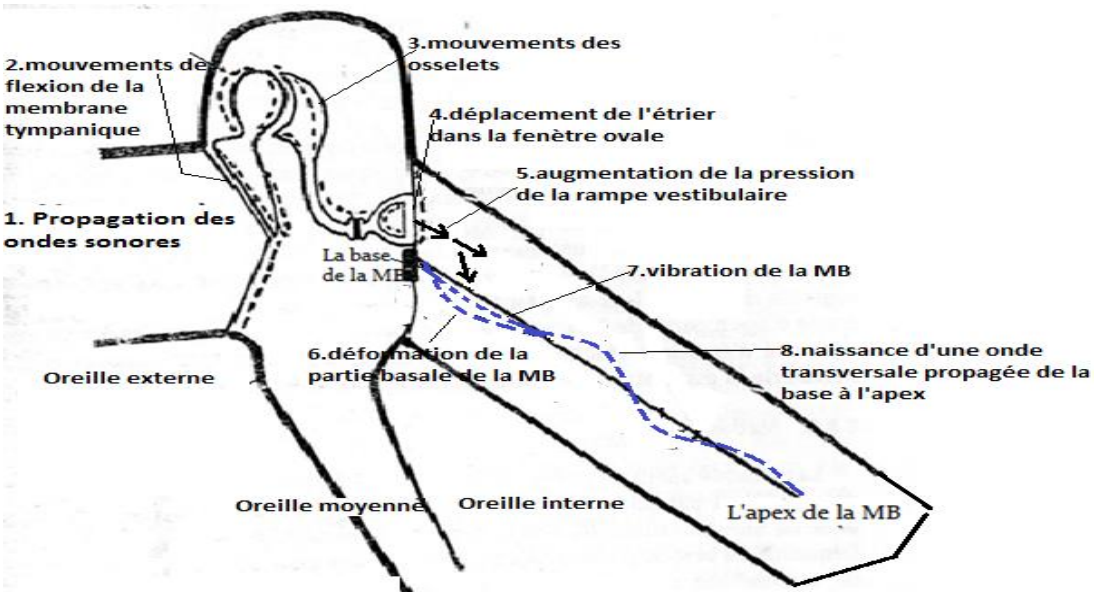
-**l'oreille externe :** l'ensemble du pavillon la conque et le CAE Interviennent dans la réception de l'énergie sonore (le pavillon collecte le son) et dans la focalisation de cette énergie sur la membrane tympanique. Ils assurent également une amplification des ondes sonores de 30 à 100 fois .

Le pavillon et la conque fonctionnent comme un filtre, ils consistent à filtrer les différentes fréquences afin d'obtenir des indications sur l'élévation de la source sonore. Ils jouent un rôle dans la localisation des sources sonores, en particulier dans les opérations de localisation : avant par rapport à l'arrière, ou haut par rapport au bas.

- Oreille moyenne : quand l'onde sonore qui parcourt le canal auditif appuie sur la membrane tympanique, entraine des mouvements de flexion de la membrane tympanique, et par la suite des mouvements des osselets, le mouvement est transmis par le marteau à l'enclume puis à l'étrier, entrainant des déplacements d'étrier dans la fenêtre ovale, et pour chaque déplacement il va exercer une brève pression dans la fenêtre ovale.

2. Phase liquidienne ou mécanique cochléaire : l'énergie sonore à l'origine d'une force mécanique.

Pour chaque déplacement de l'étrier dans la fenêtre ovale(fait se bomber légèrement à la fenêtre ovale), provoque une augmentation de la pression (ou compression) de la rampe vestibulaire, entrainant une déformation de la partie basale de la MB à l'origine de sa vibration, qui va provoquer la naissance d'une onde transversale propagée le long de la MB de la base au sommet (l'apex).



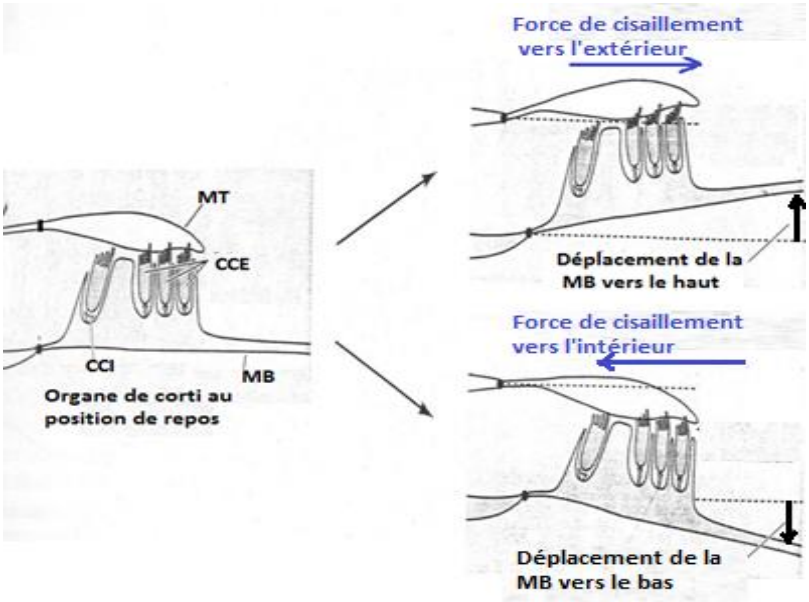
La MB est plus épaisse et plus rigide à la base qu'à l'apex, la base de la MB vibre pour les fréquences sonores hautes (amplitude de l'onde de vibration est maximale), tandis que l'apex de la MB est moins raides (souple), vibre pour les fréquences basses (l'onde de vibration est maximale), c'est la représentation tonographique des fréquences au niveau de la MB

3. <u>Phase électrique et nerveuse</u> :

Les cellules ciliées (CCE, CCI) et plus précisément leurs cils sont le siège de la transduction mécano-électrique, c-à-d la transformation de la vibration sonore (énergie sonore transformée en énergie mécanique) en un message électrique nerveux

D'une façon globale, le mécanisme de cette transduction est presque similaire pour les CCE et CCI.

La vibration de la MB à l'origine d'un déplacement de la MB vers l'haut et vers le bas, à l'origine d'un mouvement (force) de cisaillement entre la membrane basilaire et la membrane tectoriale, vers l'extérieur, lorsque la MB se déplace vers le haut (vers l'intérieur, lorsque la MB se déplace vers le bas), entrainant le déplacement horizontal et vers l'extérieur des cils, et le fléchissement de l'ensemble des cils du plus longs vers les plus courts.

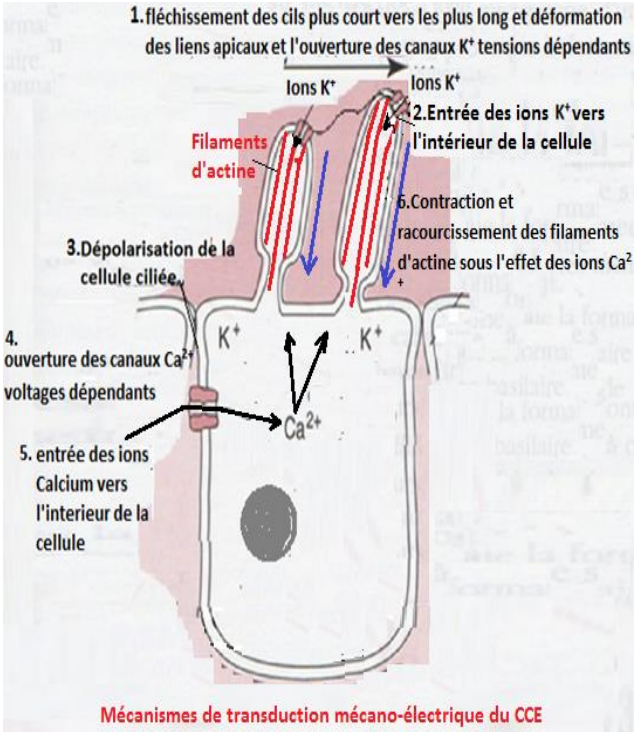


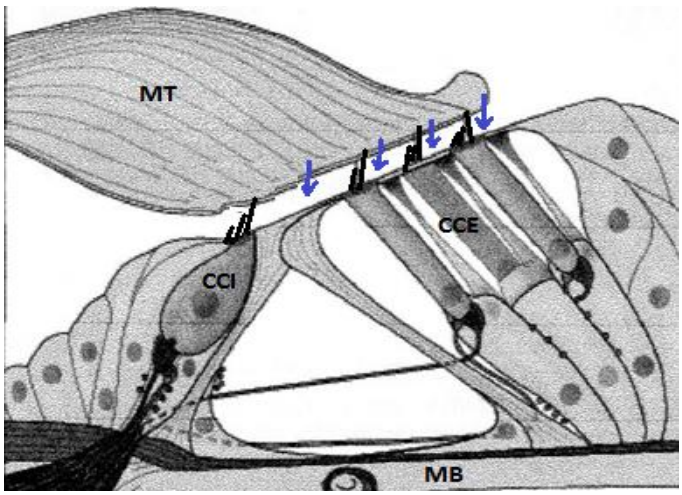
Les CCE sont des cellules de soutien. Les CCI interviennent dans la naissance du message nerveux auditif.

Les CCE sont les premiers activés par la mouvement de cisaillement, car ils sont en contact direct avec la membrane tectoriale. Egalement, ces cellules possèdent une propriété contractile par la présence des protéines contractiles aux niveaux de leurs cils. Contrairement aux CCI qui sont moins sensibles au mouvement de cisaillement car ils sont éloignés de la membrane tectoriale.

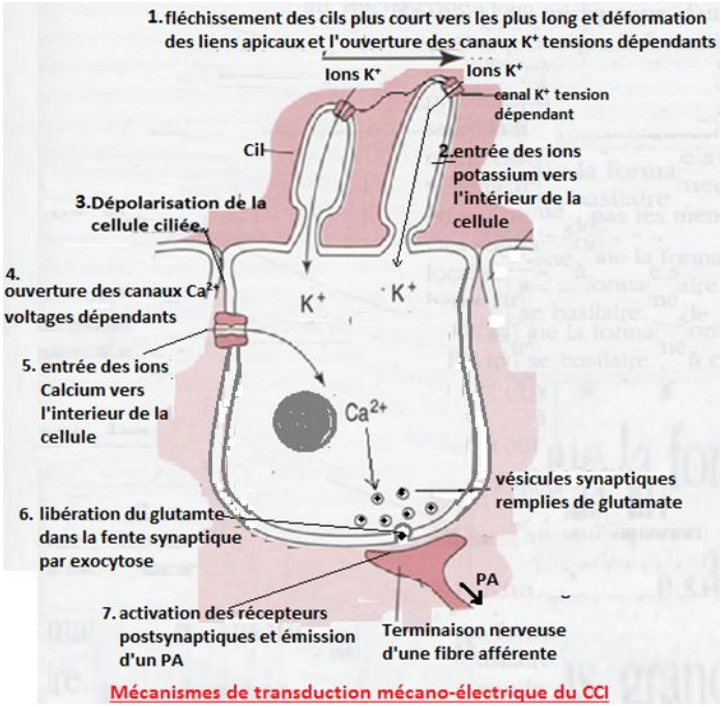
- ***La transduction mécano-électrique des CCE » :*** par fléchissement des cils des CCE plus courts vers les plus longs, causé par la force de cisaillement vers l'extérieur, ce qui provoque l'étirement des liens

apicaux et l'ouverture des canaux potassiques, et par la suite la diffusion des ions k^+ du milieu extra cellulaire (endolymphe) vers le milieu intra cellulaire, provoquant la dépolarisation des CCE, à l'origine de l'ouverture des canaux calciques voltages dépendants, et puis l'entrée du Ca^{+2}dans la cellule ce qui entraine l'augmentation de la concentration du Ca^{+2} en intracellulaire. Les ions Ca^{+2} se fixent sur les protéines contractiles (filament d'actine), provoquant leurs contractions, ces filaments se raccourcissent et puis ils vont attirer vers le bas la membrane tectoriale, pour ramener cette membrane en contact directe avec les cils le plus longs des CCI, afin de faciliter sont excitation.





- ***La transduction mécano-électrique des CCI*** : une fois les Cils des CCI déformés, en plus les cascades de dépolarisation en commun avec la CCE. L'augmentation de la concentration du Ca^{+2} en intracellulaire (qui forme l'élément présynaptique), entraine la libération du neurotransmetteur « glutamate » par les vésicules dans la fente synaptique par le phénomène d'exocytose, et par suite l'activation des récepteurs postsynaptiques des terminaisons axonales des fibres afférentes, et le déclenchement d'un potentiel d'action qui va se propager le long des voies auditives.

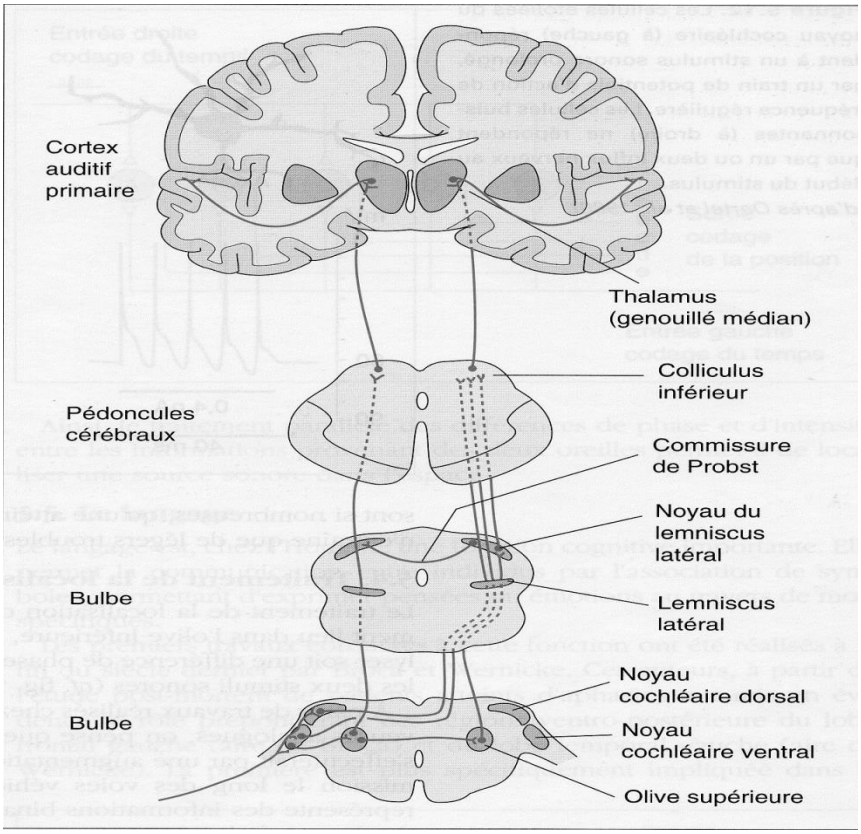


Mécanismes de transduction mécano-électrique du CCI

B.<u>La phase d'intégration et de projection corticale</u>: Les voies auditives dont le point de départ est le nerf auditif, sert à conduire l'influx nerveux ou l'information auditive de l'oreille jusqu'au centre supérieur : tronc cérébral – thalamus –cortex cérébral, où s'opère l'intégration et l'interprétation du message nerveux, par le traitement central de l'intensité, de la fréquence, et de la localisation spatiale de la stimulation sonore, de cette intégration naitra la sensation puis la perception consciente.

Le nerf auditif composant principal du nerf VIII émet un prolongement central en direction vers le tronc cérébral, Les fibres se projettent en premier lieu dans les noyaux cochléaires au niveau bulbaire, composés de noyau dorsal et noyau ventral. Du noyau cochléaire ventral, part un tractus ventral qui innerve d'autres noyaux bulbaires : les noyaux olivaires ipsi et controlatéral. Les efférences du noyau cochléaire dorsal constituent le tractus dorsal ou corps trapézoïde, ces fibres croisent du coté opposé et montent pour se connecter avec le noyau du lemnisque latéral au niveau bulbo-pontique, des fibres proviennent des noyaux olivaires controlatéral y aboutissent également. Le tractus auditif se prolonge ensuite vers le colliculus inférieur au niveau mésencéphalique, puis vers le corps genouillé médian (CGM) du thalamus, avant d'atteindre le cortex auditif primaire localisé dans le lobe temporal, Constituent les voies auditives croisées.(environ 60%).

Les noyaux cochléaires et olivaires bulbaires émettent aussi des fibres ipsilatérales en direction vers les noyaux : du lemnsique latéral, le colliculus inférieur et le CGM du thalamus ipsilatéraux, pour atteindre le cortex auditif primaire ipsilatéral. Constituent les voies auditives directes ou ipsilatérales (environ 40%).


Cortex
auditif
primaire
Thalamus
(genouillé médian)
Colliculus
inférieur
Pédoncules
cérébraux
Commissure
de Probst
Noyau du
lemniscus
latéral
Bulbe
Lemniscus
latéral
Noyau
cochléaire dorsal
Bulbe
Noyau
cochléaire ventral
Olive supérieure