

Ministère de l'enseignement supérieur  
université Ferhat Abbas Sétif 1  
faculté de Médecine - Laboratoire de Physiologie  
Service de neurologie - CHU Sétif

Cours de Physiologie

# PHYSIOLOGIE DE L'AUDITION

Dr.BELLOUZ.I

# Introduction

- l'audition pour l'espèce humaine, est la plus perfectionnée des fonctions de relation.
- elle permet l'analyse et différenciation des sons
- Les capacités de perception auditive reposent sur un petit groupe de cellules réceptrices situées dans l'oreille interne au niveau de la cochlée

# Rappel

- Son : ondes de pression générées par les vibrations des molécules du milieu où il se propage
- consiste en une alternance de zones de compressions (pression élevée) et de raréfactions (pression faible).
- représentant la partie audible du spectre des vibrations acoustiques, de même que la lumière se définit comme la partie visible du spectre des vibrations électromagnétiques.

# Rappel

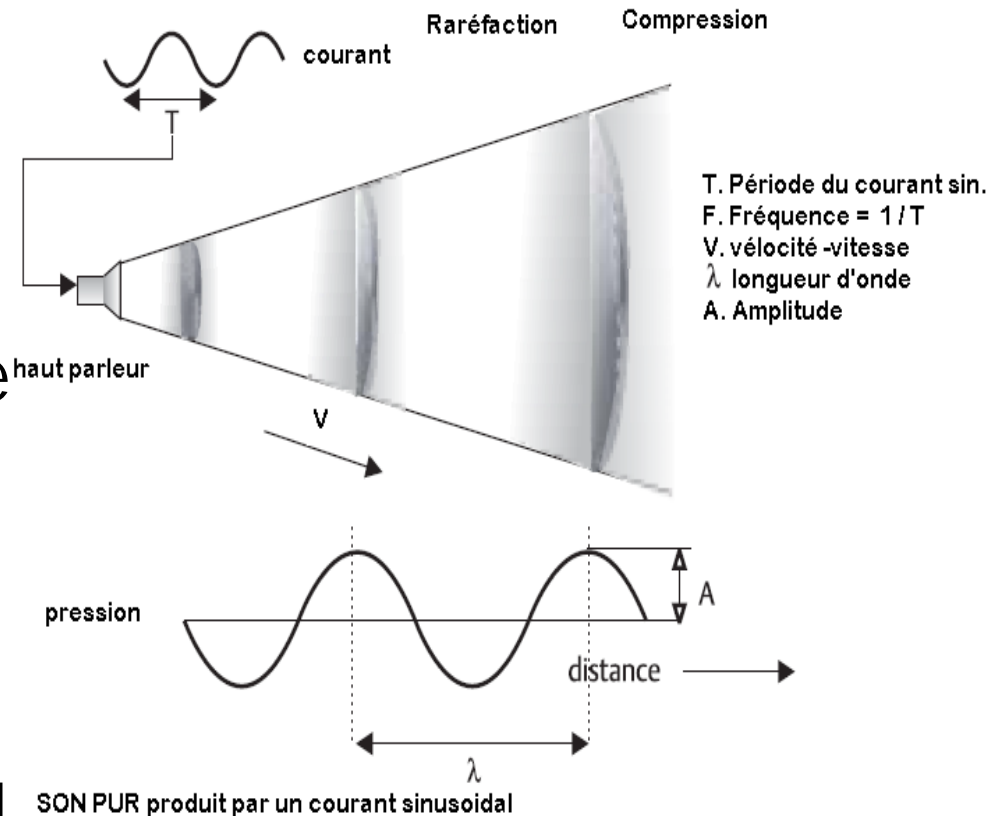
- Pour une température de  $20^{\circ}\text{C}$ , la vitesse de propagation de l'onde sonore dans l'air est d'environ  $343\text{m/s}$
- Dans un milieu tel que l'eau, à une température ambiante de  $20^{\circ}\text{C}$ , une onde sonore se propage à  $1500\text{m/s}$  et à des vitesses encore supérieures dans les matériaux plus denses ( $3500\text{m/s}$  dans l'os et jusqu'à  $6000\text{m/s}$  dans l'acier ). En effet, même si ces matériaux ont une masse volumique plus importante que l'air, leur coefficient de compressibilité est très faible. Ainsi, l'onde sonore s'y propage rapidement.  
Dans le vide, dépourvu de matière, aucune onde sonore ne se propage (le milieu doit être constitué de matière), à l'inverse des ondes électromagnétiques qui peuvent s'y propager.

# Rappel

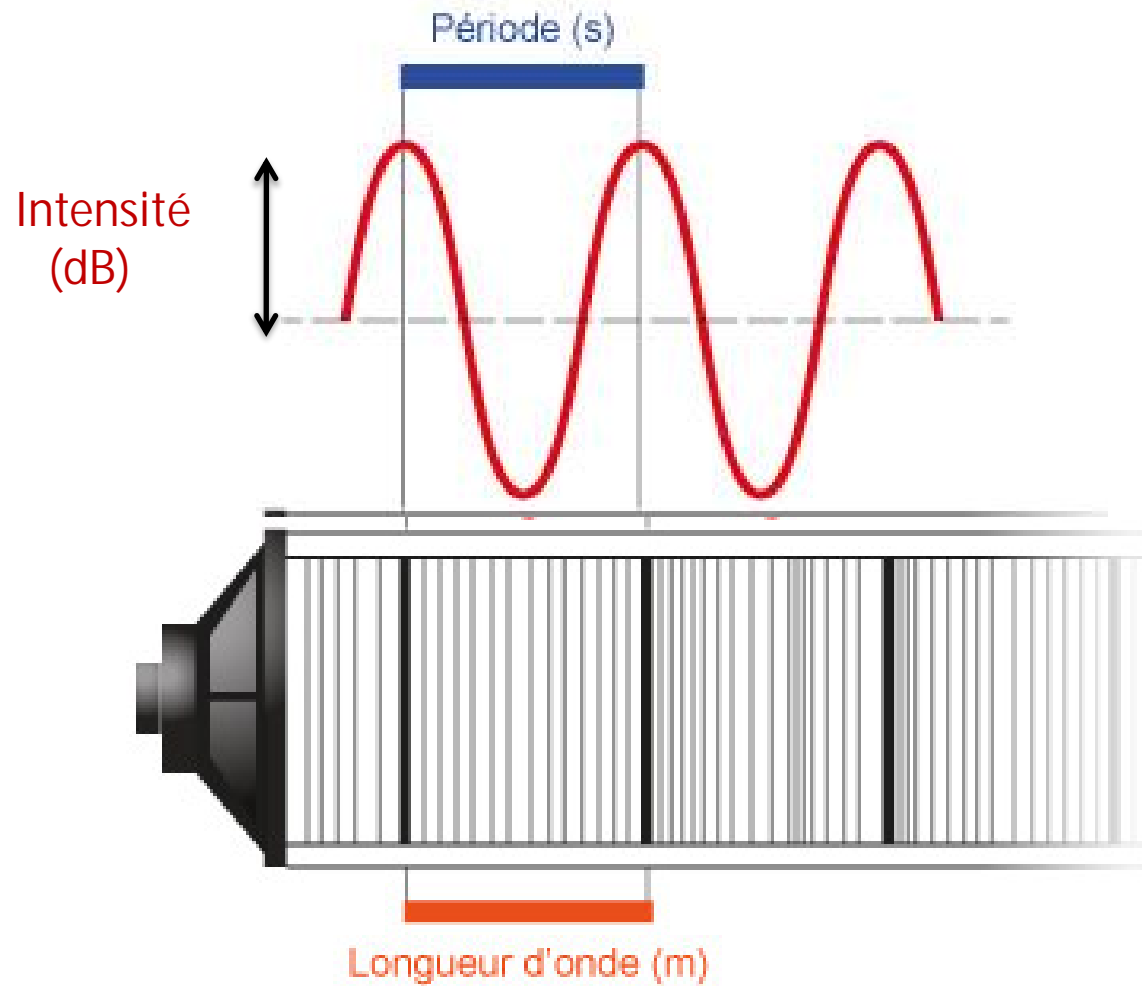
- Comme tous les phénomènes ondulatoires les ondes sonores sont caractérisées par:
  - La fréquence ( $F$ ) exprimée en cycles/ seconde ou Hertz : est le nombre de périodes par unité de temps, qui définit les sons aigus et graves
  - la période inverse de la fréquence ( $1/F$ ) exprimée en seconde : est l'intervalle de temps séparant deux états vibratoires identiques et successifs d'un point du milieu dans lequel l'onde se propage.
  - l'amplitude ( intensité ) exprimée en dB qui définit les sons forts et faibles
  - La longueur d'onde: la distance parcourue par l'onde pendant une période.

# Rappel

- Son : *la vibration du milieu* (air++)
- L'intensité en dB
- La fréquence  $F = 1/T$
- La célérité : dépend de la compressibilité du milieu (330 m/s air)
- La propagation avec vitesse constante mais variable selon le milieu



# Rappel



# Rappel

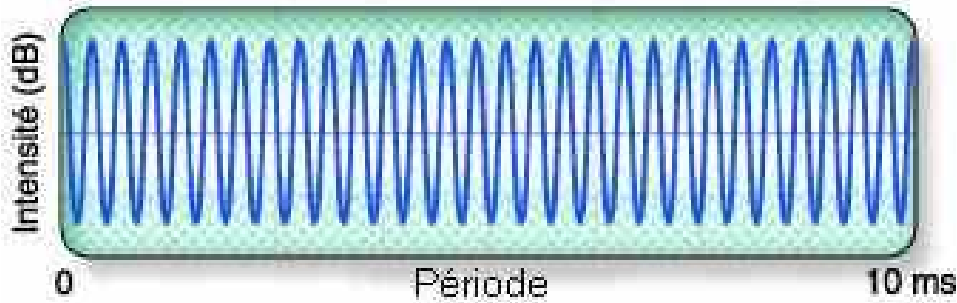
- Le son pur : constitué d'une seule fréquence
- Les sons complexes :
  - *Les sons complexes périodiques ou musicaux*  
(série de sons purs)
  - *Les sons complexes non périodiques ou bruit ( pas de fréquence caractéristique)*



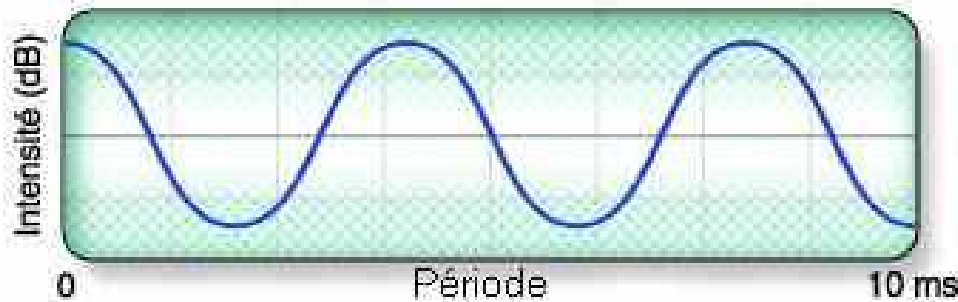
# Rappel

- *La hauteur d'un son*
- un son de *basse fréquence* est un son grave
- Un son de *haute fréquence* est un son aigu
  
- *Le timbre d'un son :*
- différencier des sons de même fréquence et de même amplitude émis par des instruments de musiques différents

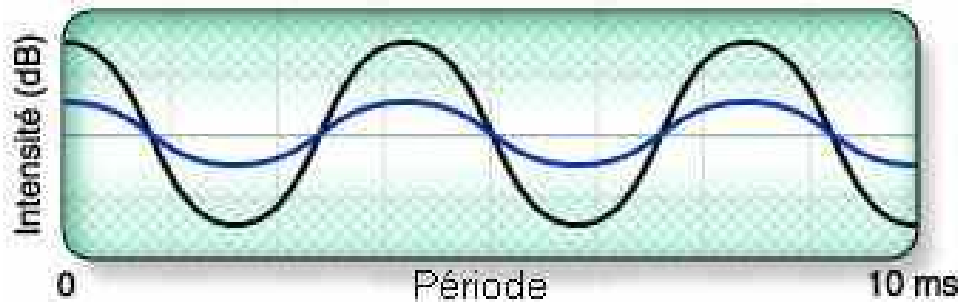
# Rappel



a) son aigu :  
cette sinusoïde représente un son pur  
d'une fréquence de 3000 Hz



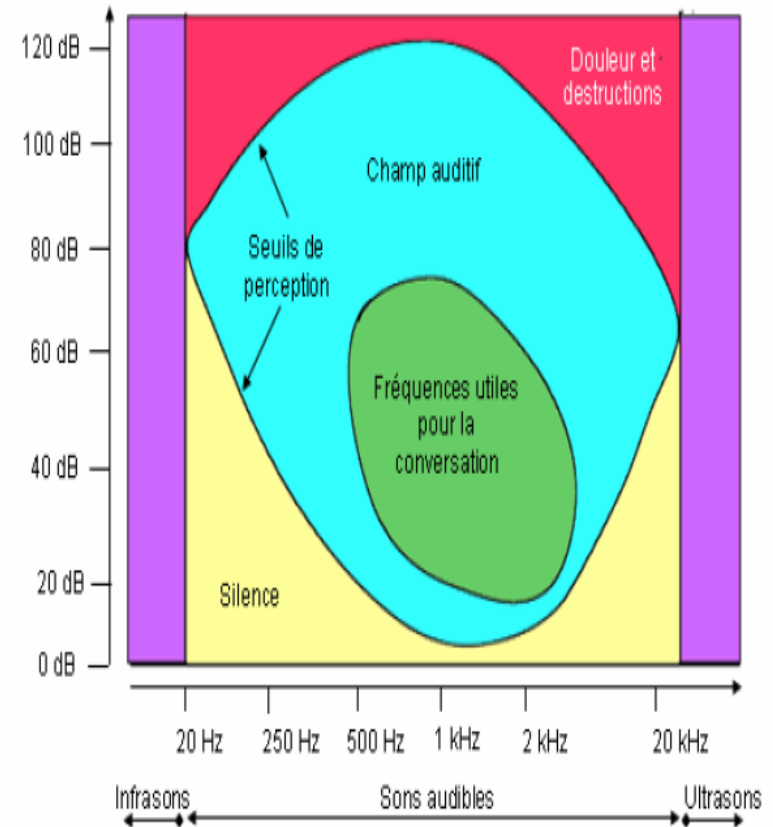
b) son grave :  
cette sinusoïde représente un son pur  
d'une fréquence de 300 Hz



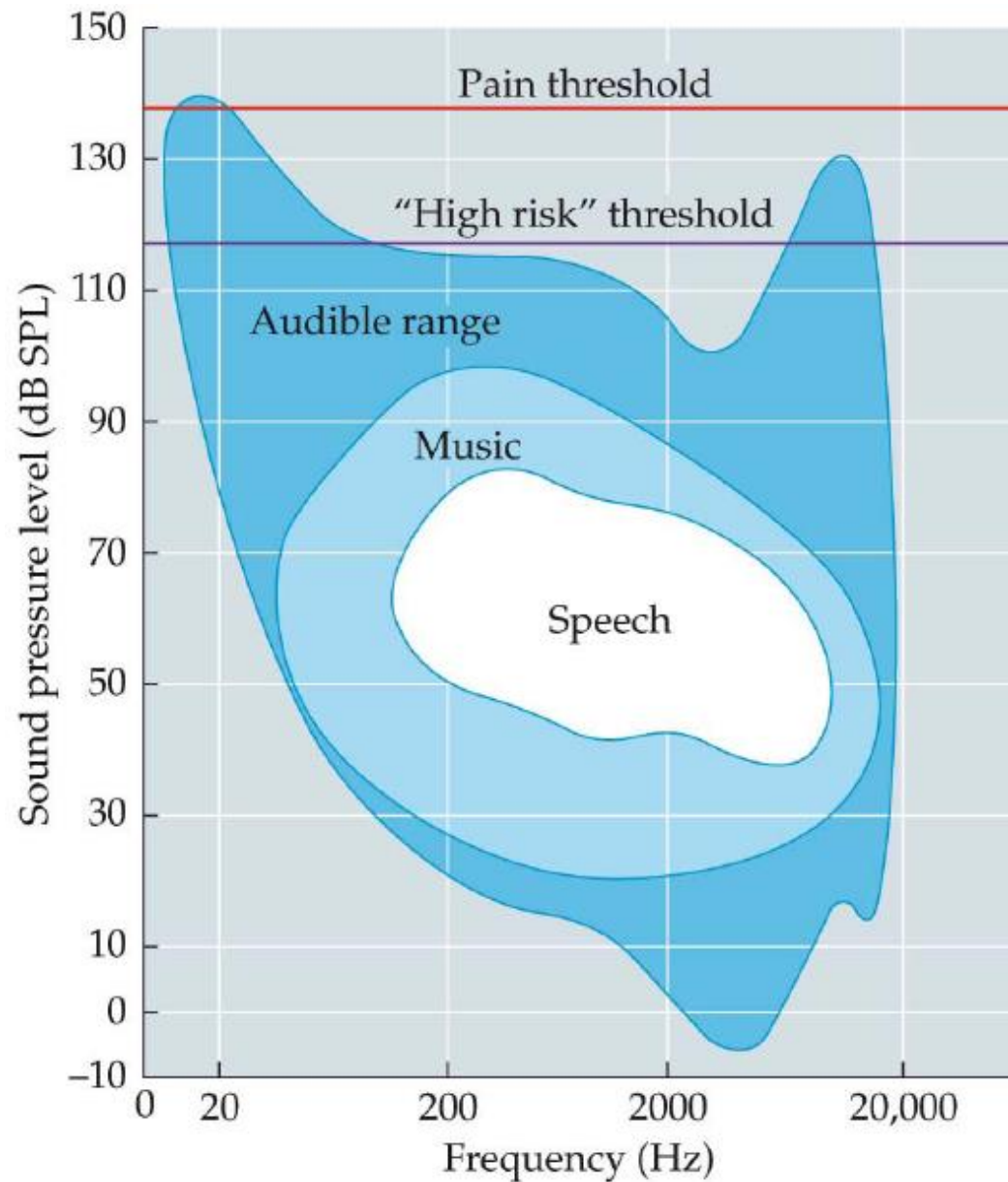
c) sons fort (noir) et faible (bleu) :  
ces sinusoïdes représentent des sons  
de même fréquence (300 Hz), mais  
d'intensités différentes

# Rappel

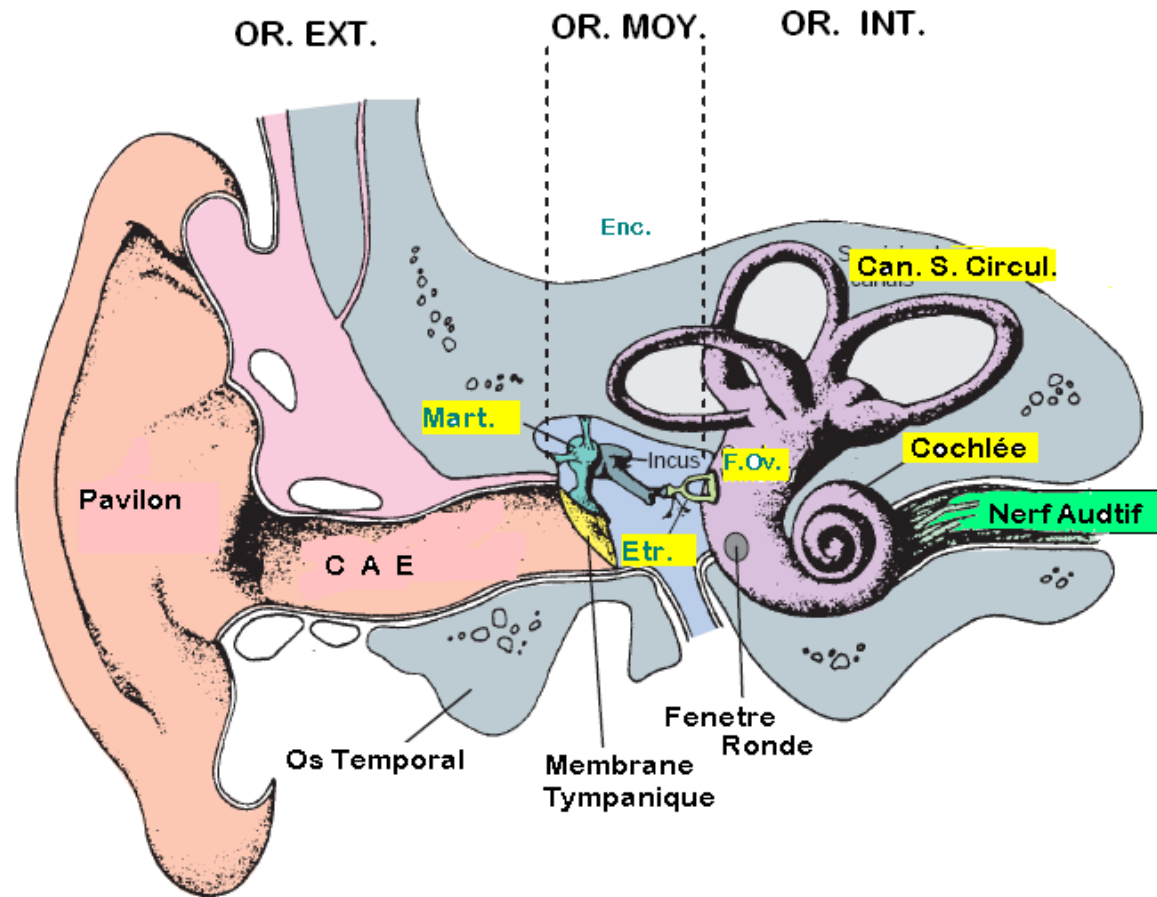
- Le spectre audible:
- Chez l'homme, il est entre 20 et 20 000 Hz
- la parole entre 200 et 5000 Hz
- seuil de la douleur 130 dB
- gamme d'intensité des sons audibles 4 - 130dB



# Rappel



# Rappel anatomique



# L'oreille externe

- L'OREILLE EXTERNE = antenne acoustique
- Le pavillon ( rôle peu important chez l'homme )
- Le conduit auditif externe (Rôle de résonateur)

➤ *Collection du son*

➤ *Gain de pression* (amplificateur) par le CAE qui fait que la pression au niveau de la membrane tympanique est plus élevée qu'à l'entrée du conduit

Le gain est max pour les son d'environ 3000Hz → gain de 10dB

➤ *Localisation des sources sonores* ( par la différence du temps d'arrivée / intensité des ondes sonores parvenant aux 2 oreilles )

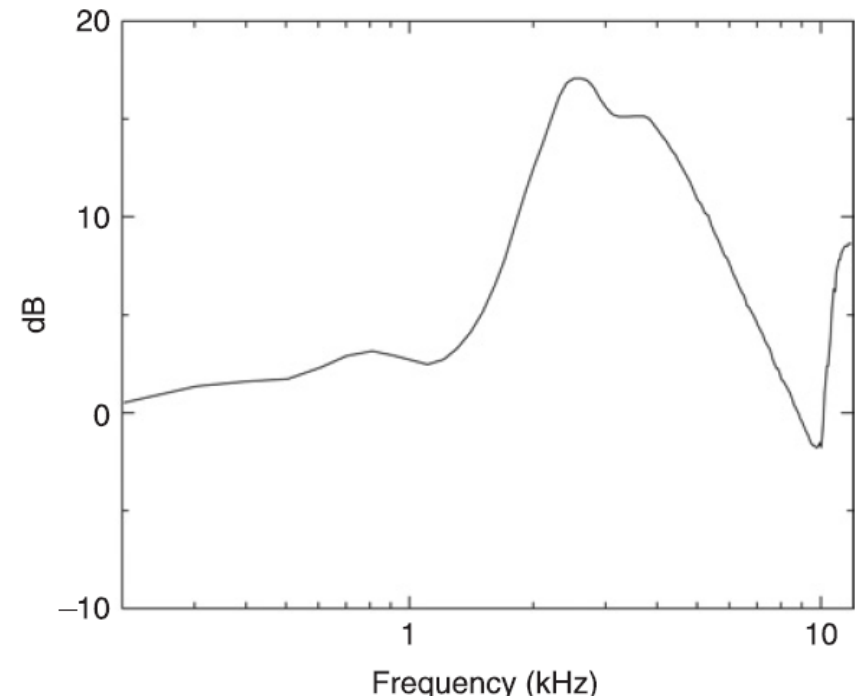
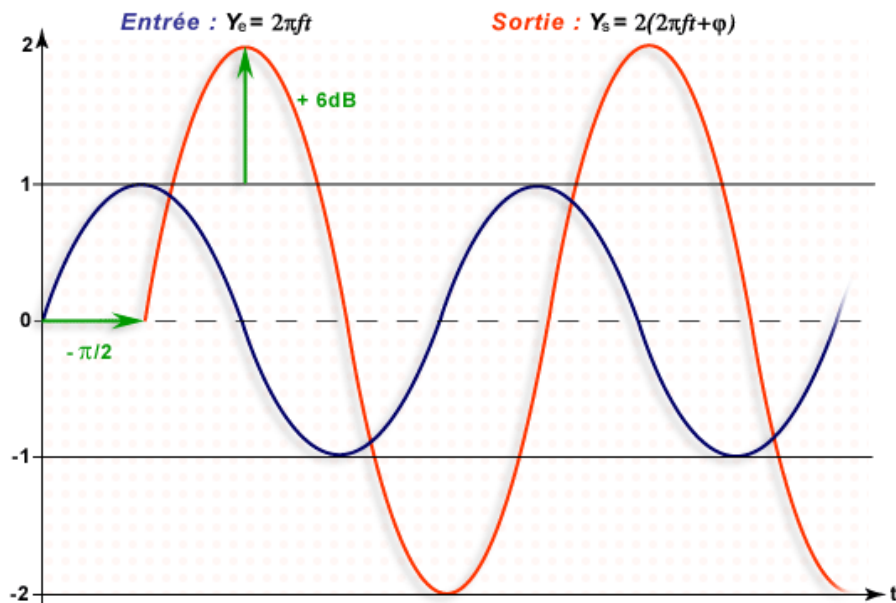
# L'oreille externe

- La pression acoustique au niveau de la membrane du tympan dépend des propriétés acoustique de pavillon de l'oreille , du conduit auditif externe et de la tête
- Les effets de la tête sur la pression acoustique dépendent de la fréquence des sons et de l'angle d'incidence des sons ( direction de la source sonore )

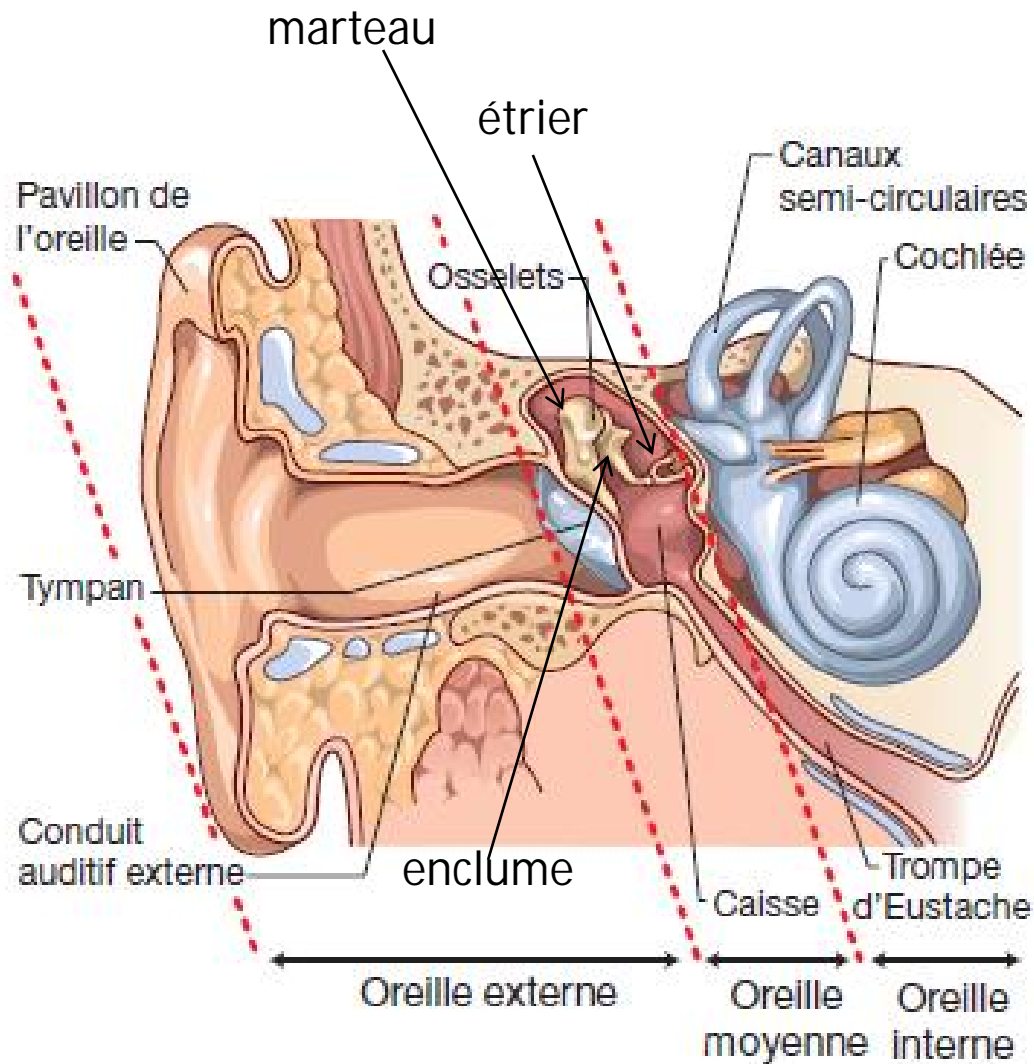
# L'oreille externe

fonction de transfert de l'oreille externe

Différence de pression acoustique au niveau de la membrane du tympan et la source sonore en face du sujet







L'oreille humaine et ses différents constituants :  
oreille externe, moyenne et interne.

# L'oreille moyenne

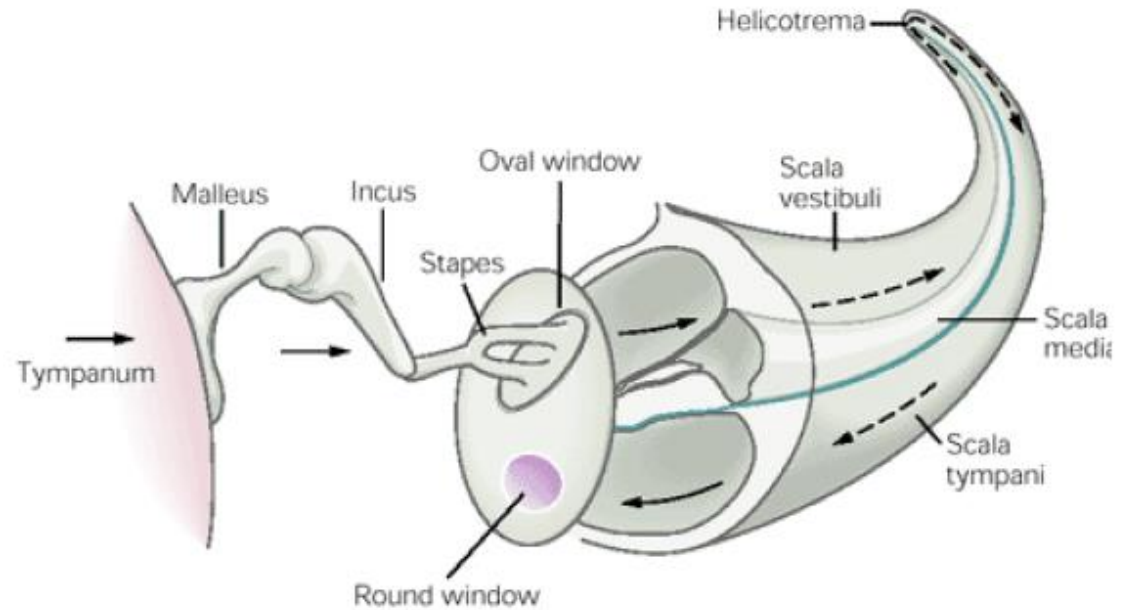
- L'OREILLE MOYENNE ➔ transfert du son du milieu aérien (OE) au milieu liquide de la cochlée (OI)
- Tympan : transmet les vibration aux osselets
- Chaîne ossiculaire
  - Adaptation d'impédance ( faible en milieu aérien , élevée au milieu liquidien de OI
  - Transformation des vibration aérienne en variation de pression liquidienne OI

# L'oreille moyenne

- Du CAE les vibrations sonores sont transmises à OI par OM (rôle de CONDUCTION des vibrations )
- L'ensemble membrane du tympan , marteau , enclume et étrier transmet ces vibrations à la FENETRE OVALE
- Le gain assuré par l'oreille moyenne dépend de la fréquence du son est d'environ 30 dB pour les fréquences moyennes ( 1000 à 2000 Hz )
- la différence entre la force qui s'exerce sur la fenêtre ovale et celle s'exerçant sur la fenêtre ronde induit le mouvement du liquide de la cochlée
- la force au niveau de la fenêtre ovale > fenêtre ronde en raison du gain assuré par l'oreille moyenne

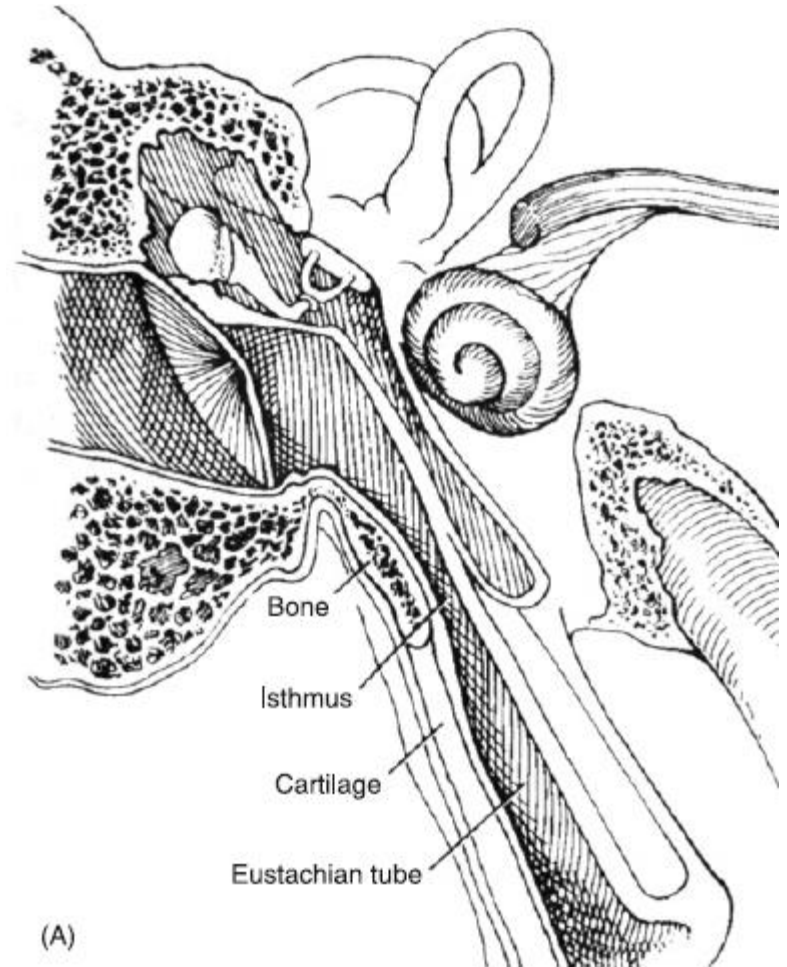
# L'oreille moyenne

- L'oreille moyenne = amplificateur de pression : elle récupère l'énergie acoustique disponible dans le milieu aérien et augmente l'amplitude des stimuli mécano-acoustiques dans l'oreille interne
- Si les vibrations aériennes étaient appliquées directement aux liquides de l'oreille interne, 99,9% de l'énergie acoustique serait perdue par réflexion au niveau de l'interface air-liquide (- 30 dB).



# L'oreille moyenne

LA TROMPE D'EUSTACHE : permet d'égaliser la pression sur les 2 faces du tympan condition nécessaire a une bonne sensibilité aux stimulations sonores



# L'oreille moyenne

- Atténuation reflexe de la transmission des ondes sonores par la chaîne des osselets :

La contraction reflexe, des muscles du tympan et de l'étrier suite à des stimulations sonores de fortes intensité, rend la chaîne des osselets plus rigide donc  $\searrow$  la transmission de l'énergie acoustique vers l'oreille interne

- rôle protecteur
- Limite : sa latence est très longue (cas de sons intenses et brefs : explosion)

# L'oreille interne

- L'OREILLE INTERNE

- ✓ le vestibule, organe de l'équilibration
- ✓ la cochlée, organe de l'audition

## *La cochlée*

- Rampe vestibulaire

} périlymphe

- Rampe tympanique

- Canal cochleaire endolymphe

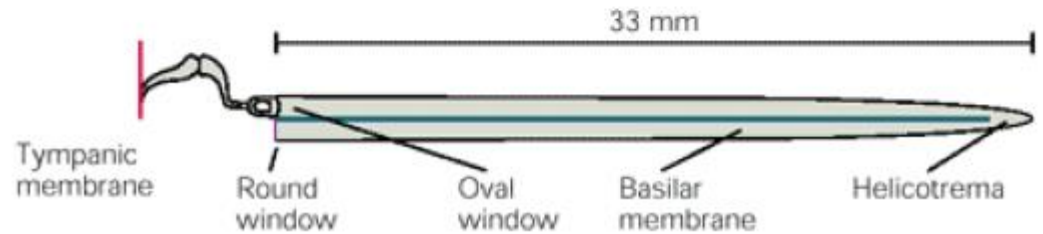
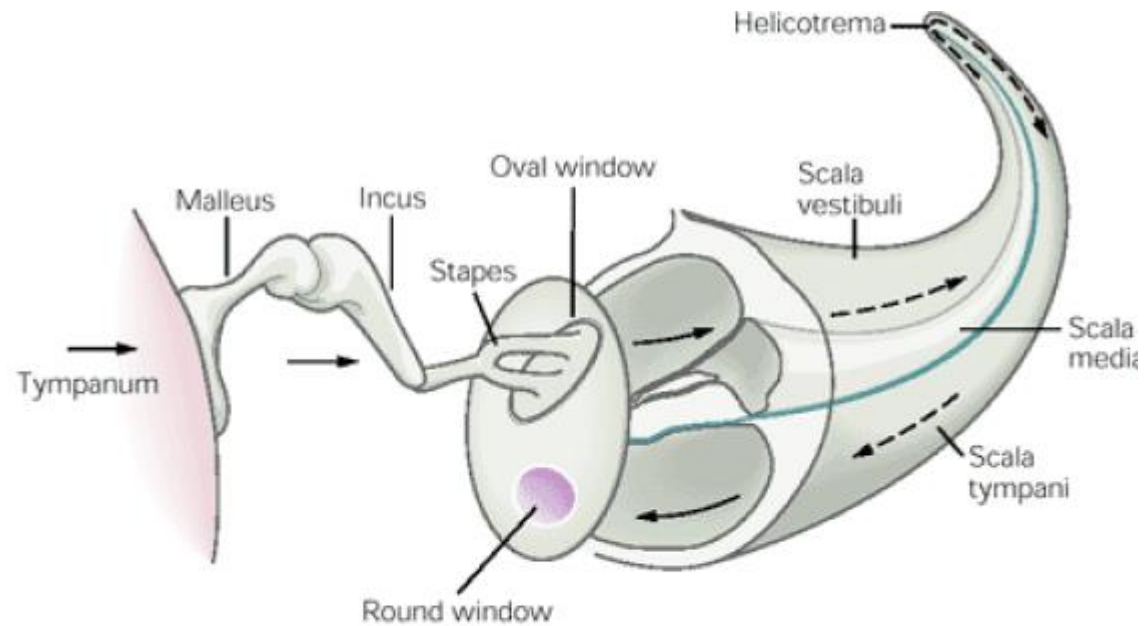
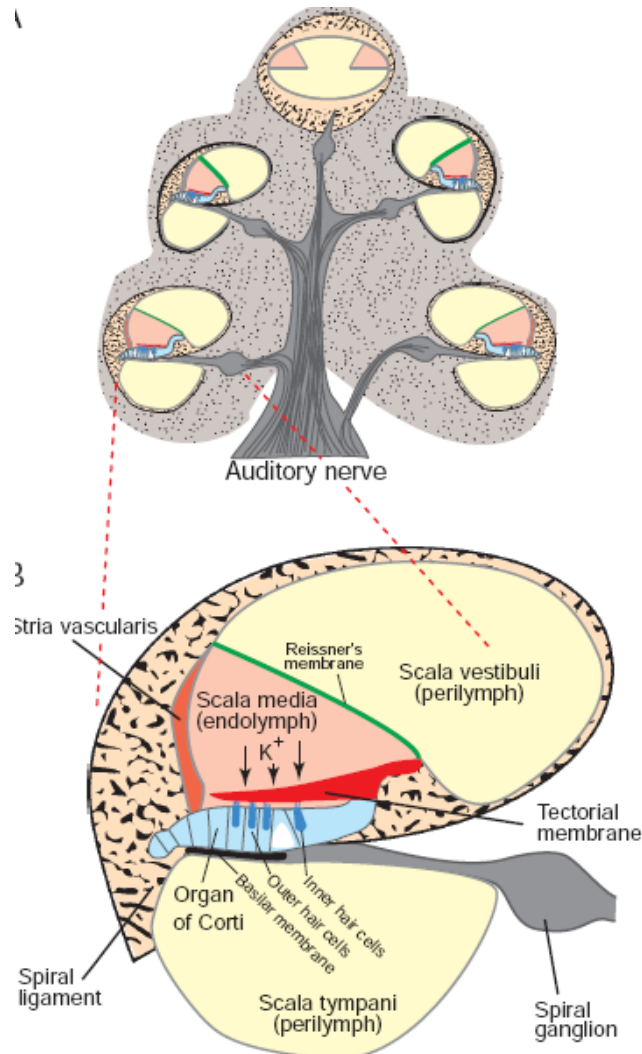
- Membrane basilaire sur laquelle repose l'organe de corti+++  
(Cellules ciliés)

# L'oreille interne

- La cochlée communique avec l'oreille moyenne par deux orifices :
  - ❖ *la fenêtré ovale* limite la base de la rampe vestibulaire et sur laquelle s'applique l'étrier
  - ❖ *la fenêtré ronde* qui clôt la base de la rampe tympanique , et sert d'échappement de pression.



# L'oreille interne



# L'oreille interne

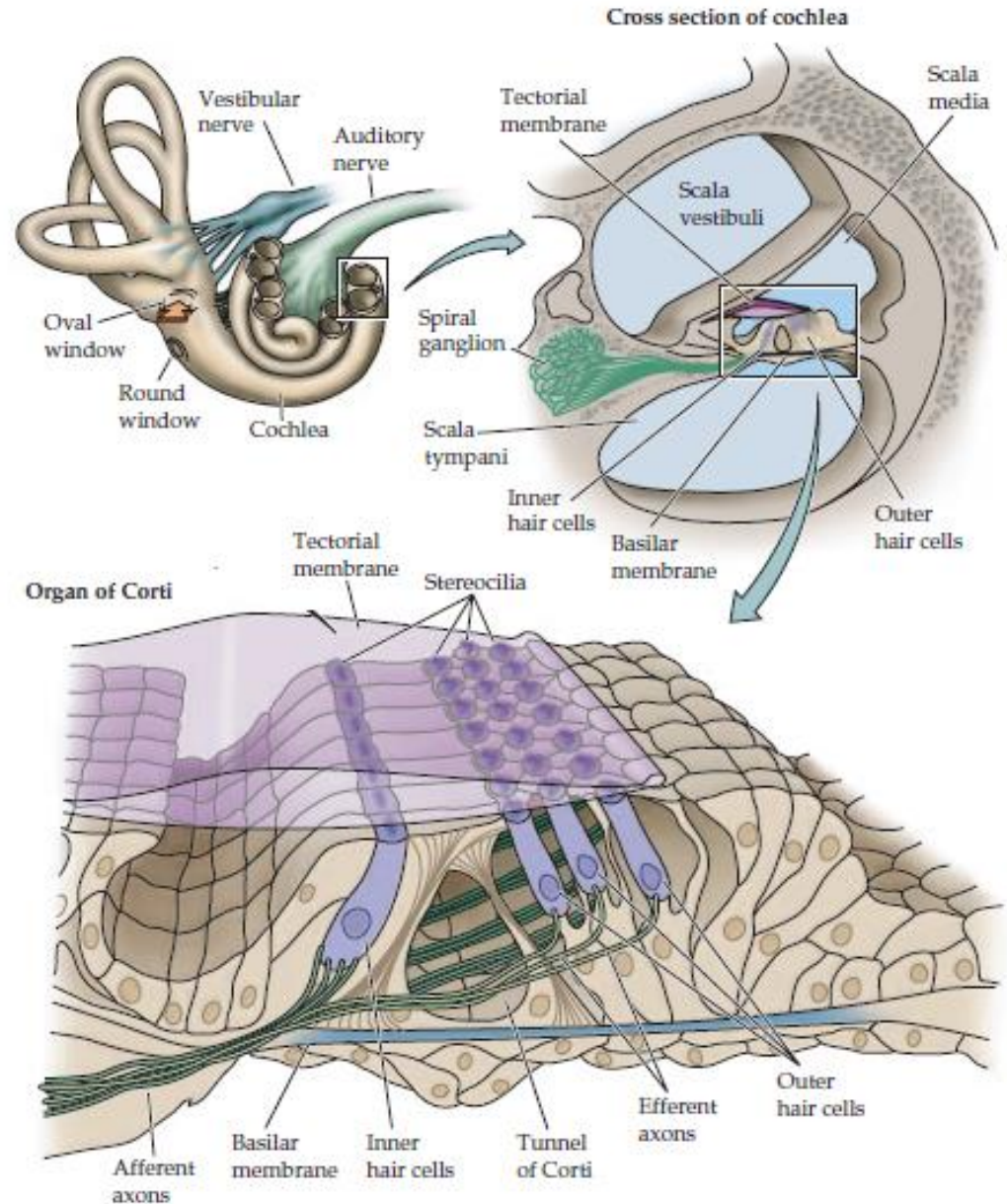
- La membrane basilaire est une structure impliquée dans la transduction auditive. Elle est étroite (0.04mm) à la base et large à l'apex (0.5mm).

L'organe de corti: c'est l'organe de la transduction

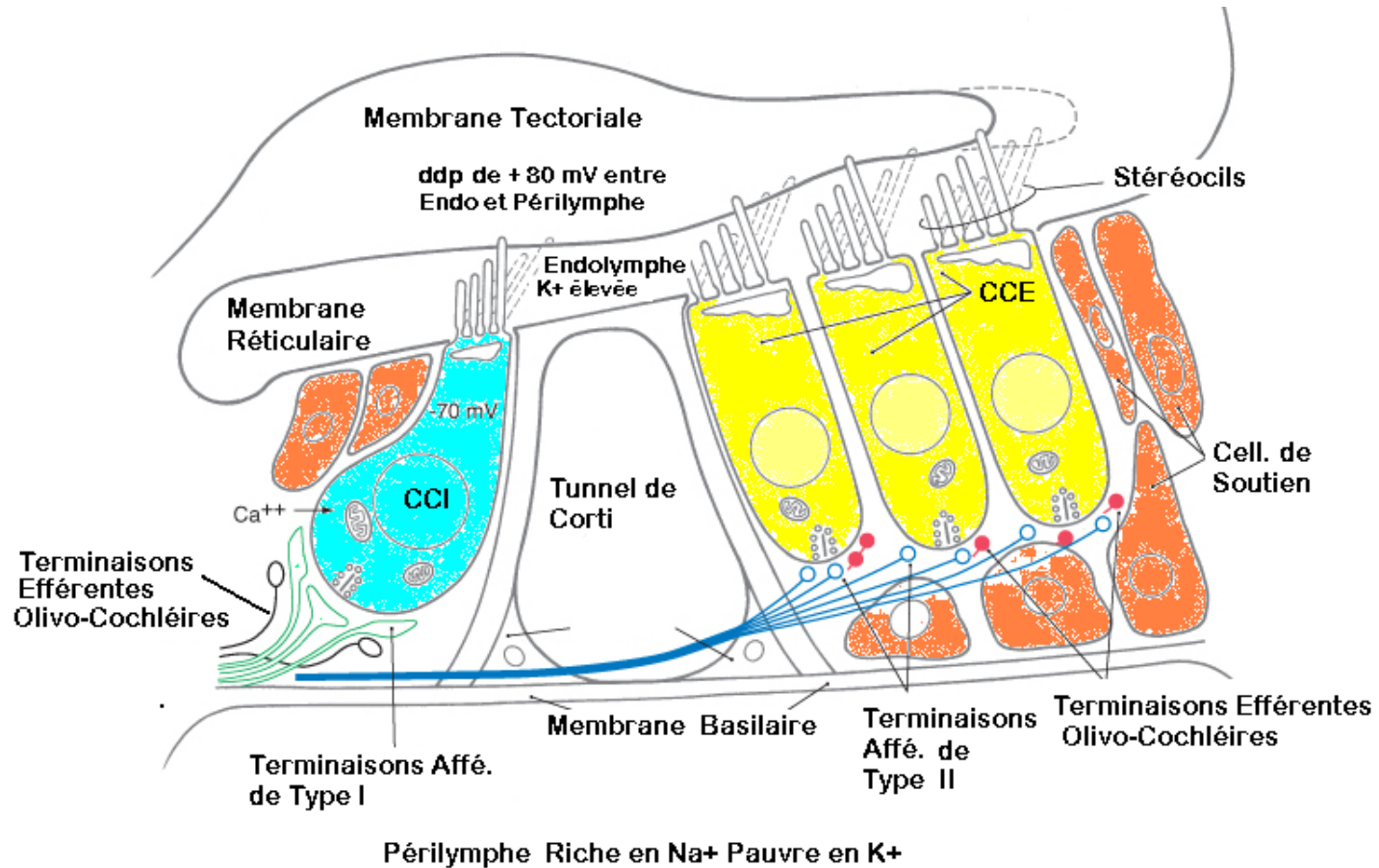
composé des cellules sensorielles ou cellules ciliées (internes et externes),

# L'oreille interne

- Les cellules ciliées :  
pôle apical en contact avec l'endolymphe,  
porte une centaine de stéréocils en 3 rangées  
de tailles différentes.  
Le reste de la cellule est  
localisé dans le  
compartiment  
périlymphatique .



# L'oreille interne



CCE: cellule ciliée externe

CCI: cellule ciliée interne

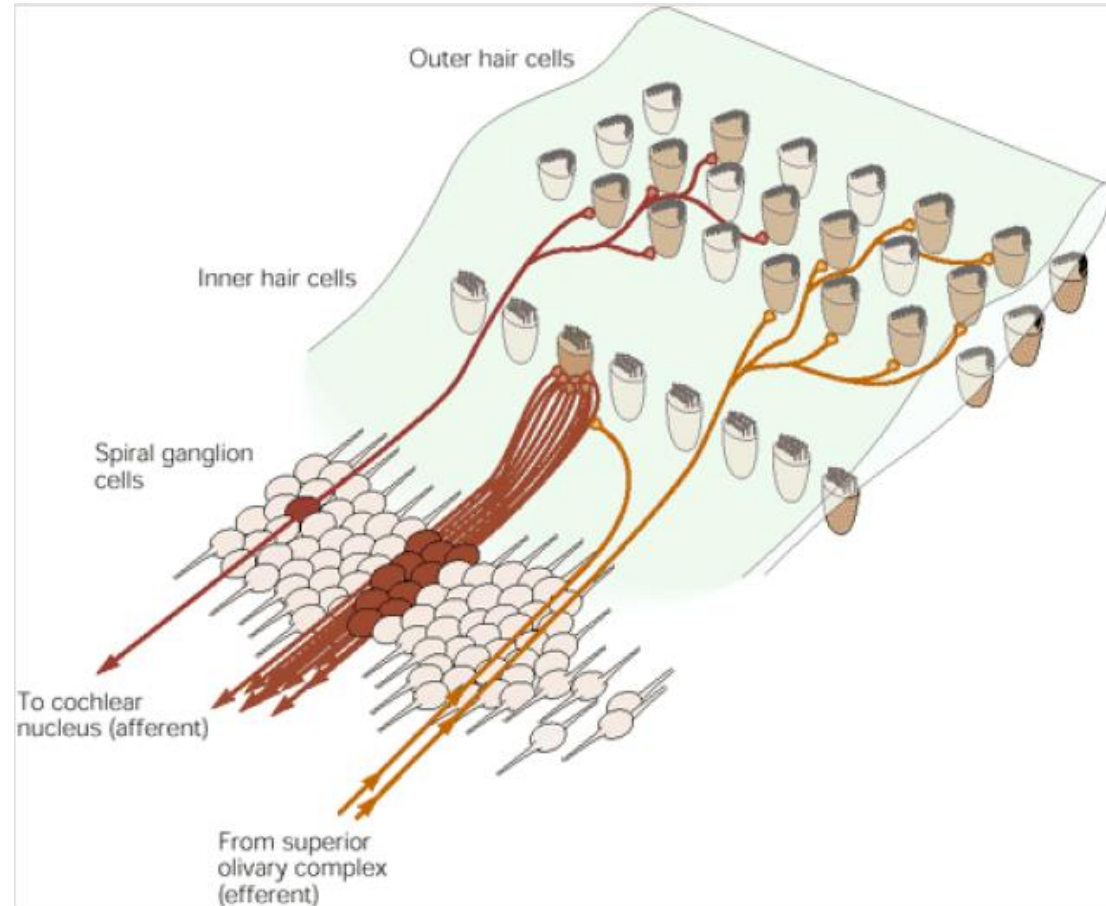
# L'oreille interne

- les cellules ciliées chez l'homme se composent d'une rangée de cellules ciliées internes (environ 3500) et trois rangées de cellules ciliées externes (environ 12000).
- les cellules ciliées (CCI) internes représentent 95% des fibres afférentes du nerf auditif
- Les terminaisons nerveuses des cellules ciliées externes (CCE) sont presque tous représentés par des axones efférents qui proviennent des cellules du complexe olivaire supérieur.



# L'oreille interne

- La majorité des fibres nerveuses **afférentes** proviennent des **CCI** dont chacune reçoit près de 10 axones
- peu de fibres afférentes assurent une innervation diffuse des CCE
- les fibres **efférentes** innervent directement et surtout les **CCE**
- l'innervation efférente des CCI est moins importante et est de type axo-axonique



# Physiologie de l'oreille interne

- amplifie les ondes sonores et les convertit en signaux nerveux
  - Sépare les sons selon les fréquences → analyseur de fréquence mécanique
1. Phénomènes mécaniques vibration de la membrane basilaire
  2. Phénomènes électriques transduction (organe de corti)

# Physiologie de l'oreille interne

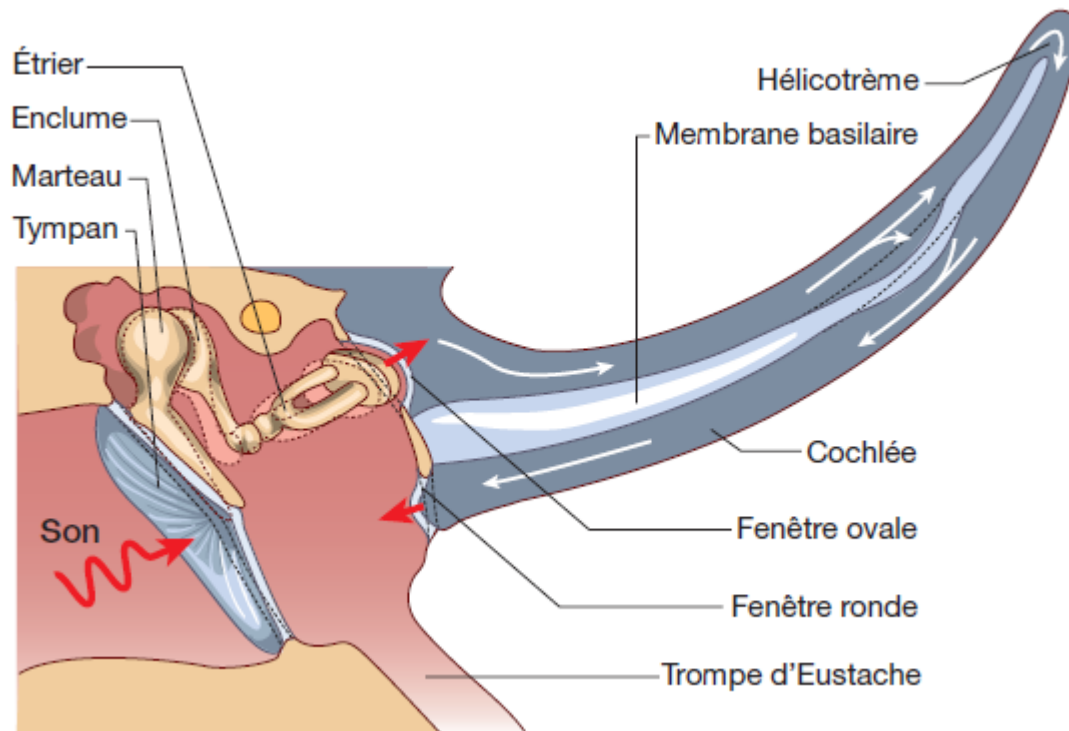
- La cochlée sépare les sons selon leur fréquence grâce au mode de vibration de la membrane basilaire et à l'électromotilité des cellules ciliées externes
- Les cellules ciliées externes agissent comme des moteurs pour amplifier les vibrations de la membrane basilaire = amplificateur cochléaire qui améliore la sensibilité aux sons

La transduction est assurée par les cellules ciliées internes (récepteurs sensoriels)



# Physiologie de l'oreille interne

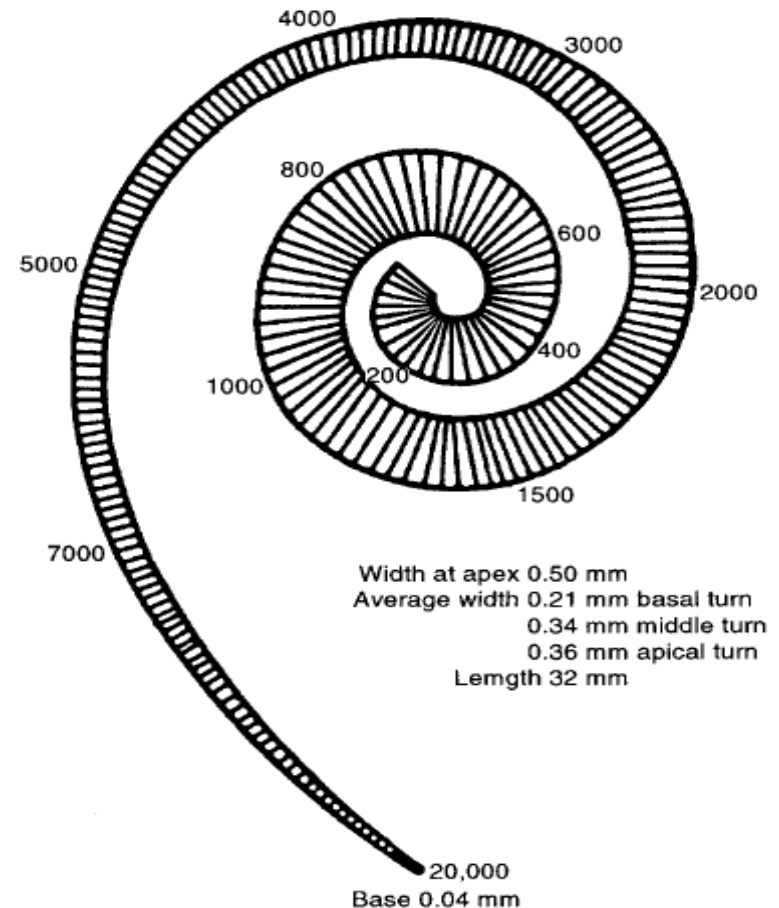
les vibrations de l'air → tympan → étrier → oscillations périodiques de la périlymphe → vibration de la membrane basale



# Physiologie de l'oreille interne

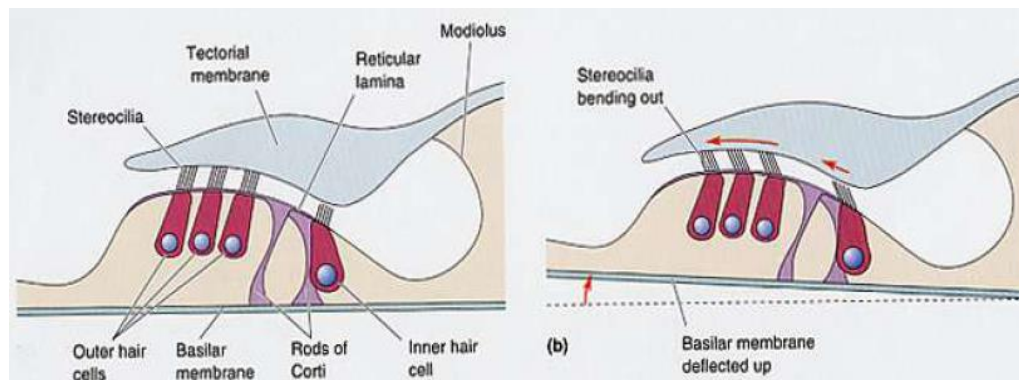
- l'emplacement de la zone qui vibre avec l'amplitude maximale dépend de la fréquence de la stimulation sonore
- La base étroite (0.04mm) vibrent pour des fréquences élevées
- les régions apicales large (0.5mm) vibrent pour les fréquences basses

*(tonotopie)*

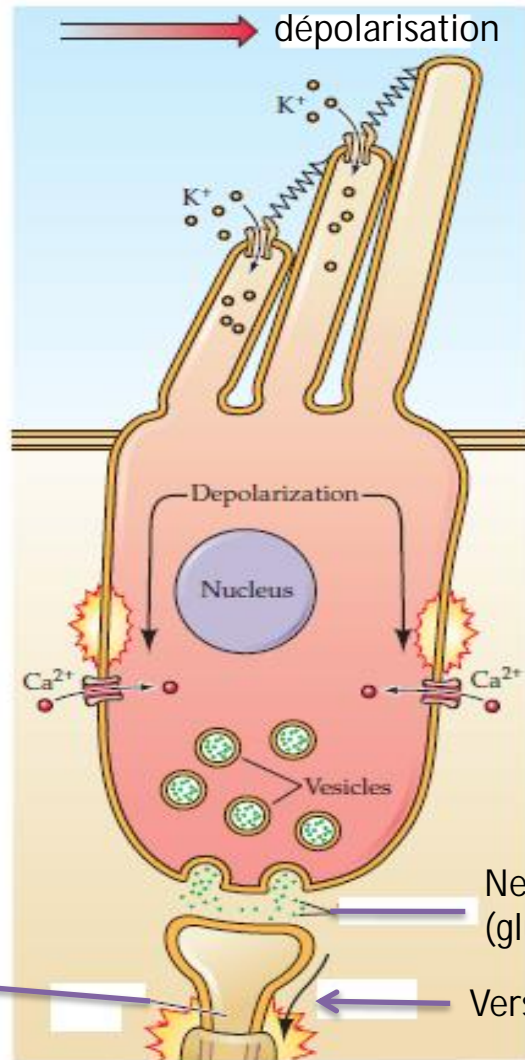


# Pysiologie de l'oreille interne

- Mécanotransduction
  - la vibration de la membrane basilaire.
  - déflexion des stéréocils
  - ouverture des canaux  $K^+$
  - courant entrant d'ions  $K^+$  à partir de l'endolymphe (proche en composition du milieu intracellulaire) → POTENTIEL RECEPTEUR
  - Dépolarisation → courant entrant  $Ca^{++}$  dans CC ,
  - libération de GLUTAMATE synapse entre CC et fibre nerveuse afférente → PA nerf auditif



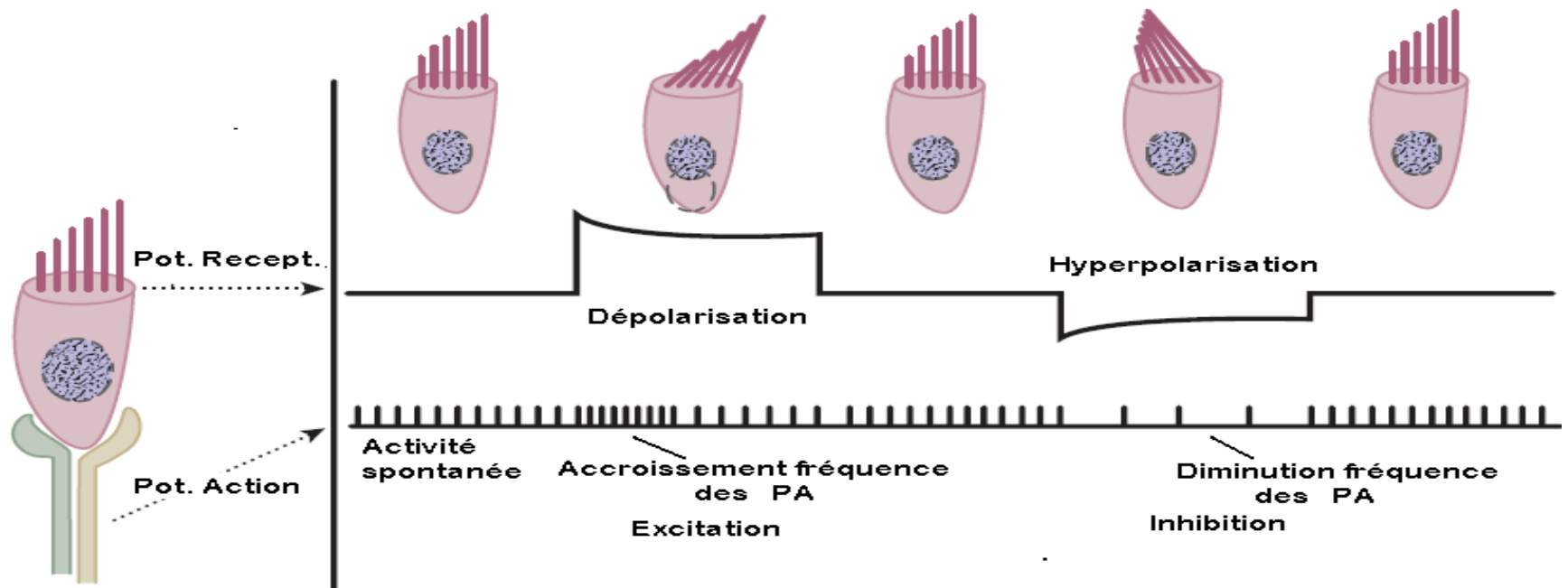
# Pysiologie de l'oreille interne



- Lorsque les cils sont déviés vers le plus long stéréocil, les canaux sélectifs pour les cations s'ouvrent près des pointes des stéréocils, permettant au  $K^+$  de passer dans la cellule ciliée
- La dépolariation qui en résulte ouvre des canaux  $Ca^{2+}$  voltage-dépendants de la cellule ciliée dans le soma cellulaire, permettant l'entrée de calcium et la libération de neurotransmetteur sur les terminaisons nerveuses du nerf auditif.

# Physiologie de l'oreille interne

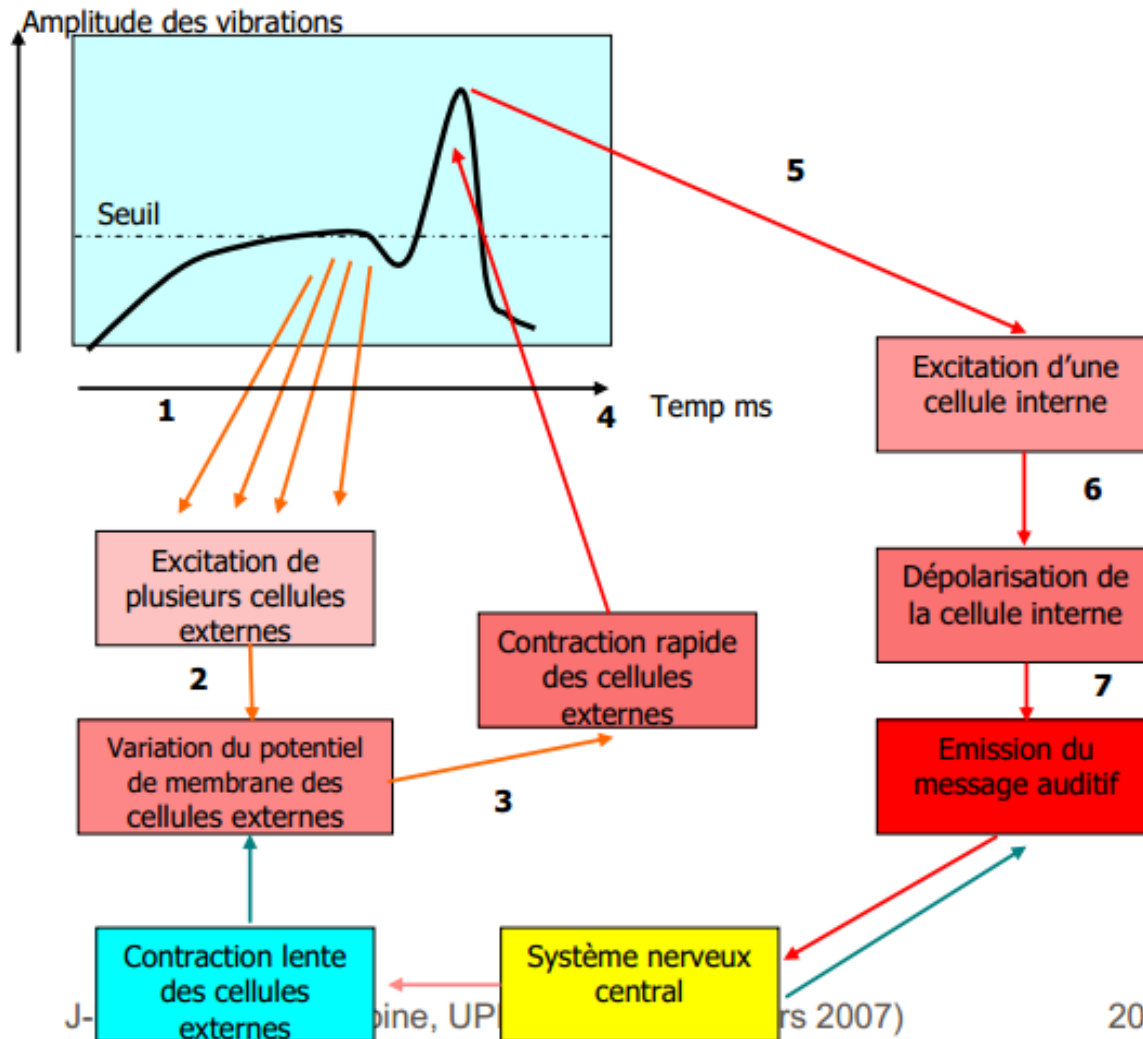
- Un déplacement vers le cil le plus long induit une dépolarisation ( potentiel récepteur ) avec  $\uparrow$  de la fréquence des PA émis .
- Un déplacement dans une direction opposée induit une hyperpolarisation et  $\downarrow$  de la fréquence des PA



# Physiologie de l'oreille interne

- AMPLIFICATION COCHLEAIRE : électromotilité des cellules ciliées externes
- dépolarisées les CCE se raccourcissent → une amplification des vibrations de la membrane basilaire induites par la stimulation sonore → amélioration de la spécificité des réponses aux fréquences et la sensibilité de l'oreille

# Physiologie de l'oreille interne



# Physiologie de l'oreille interne

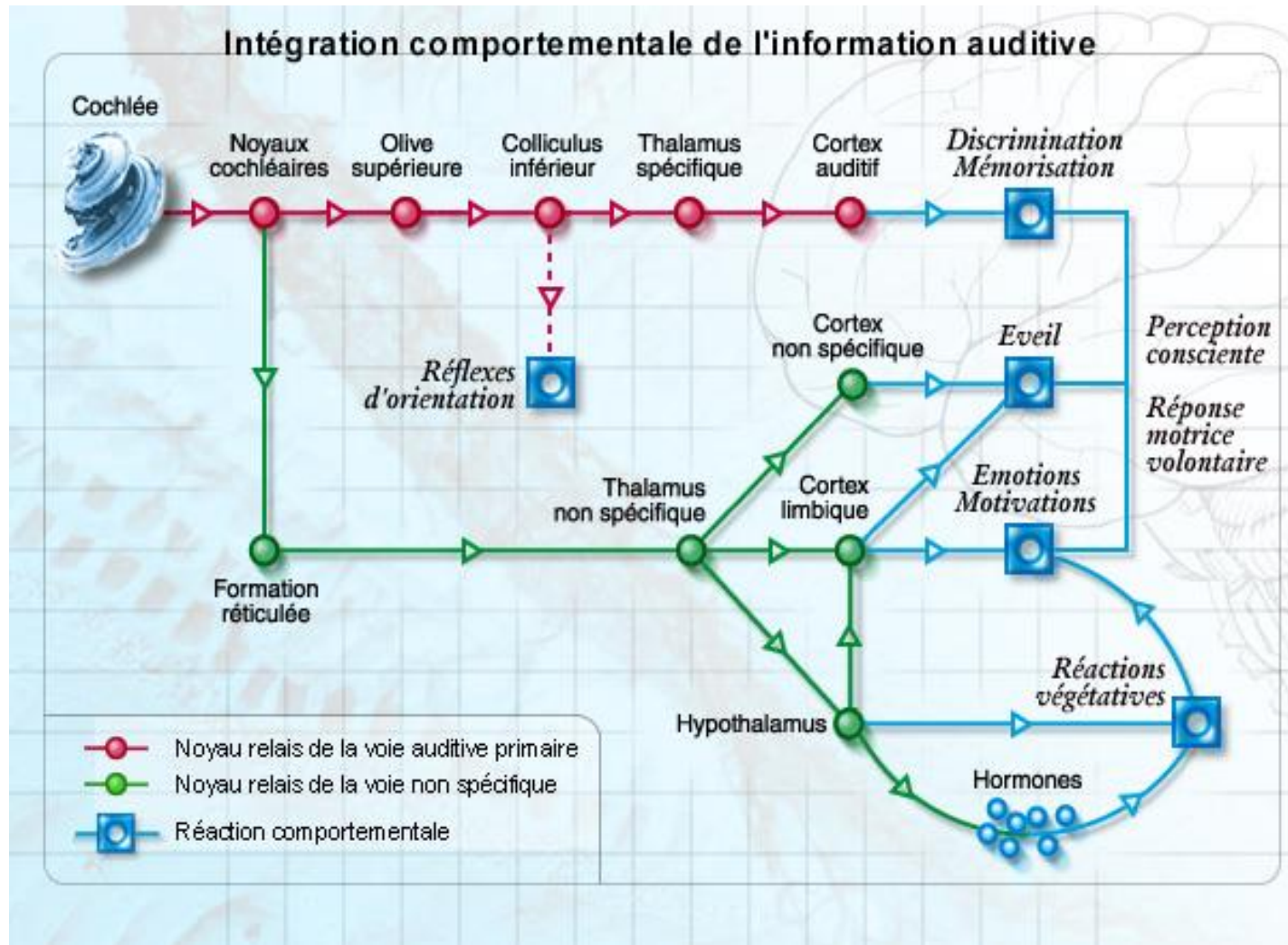
- Analyses assurées par l'oreille interne
- intensité ( plus l'intensité du son augmente , la décharge en PA du nerf auditif augmente )
- fréquence (tonotopie et fréquence caractéristique pour chaque fibre afférente)
- localisation de sa source sonore ( temps d'arrivée + amplitude de l'onde sonore)



# Voies auditives centrales

- Voies ascendantes
  - *Voie spécifique principale*
  - nerf cochléaire → le noyau cochléaire – le colliculus inférieur - le corps genouillé médian – les neurones du corps genouillé médian projettent vers le cortex auditif temporal et d'autres zones corticales
  - Certaines fibres des voies ascendantes envoient des collatérales vers les noyaux du complexe olivaire supérieur et le noyau du lemnisque latéral
  - Des connexions existent entre les noyaux ipsi et controlatéraux
  - *Voie non spécifique* : tronc cérébrale (formation réticulaire)
- Voies descendante du cortex cerebral auditif vers le corps genouillé médian et le colliculus inferieur
- des noyaux olivaires supérieurs vers la cochlée et surtout vers les CCE

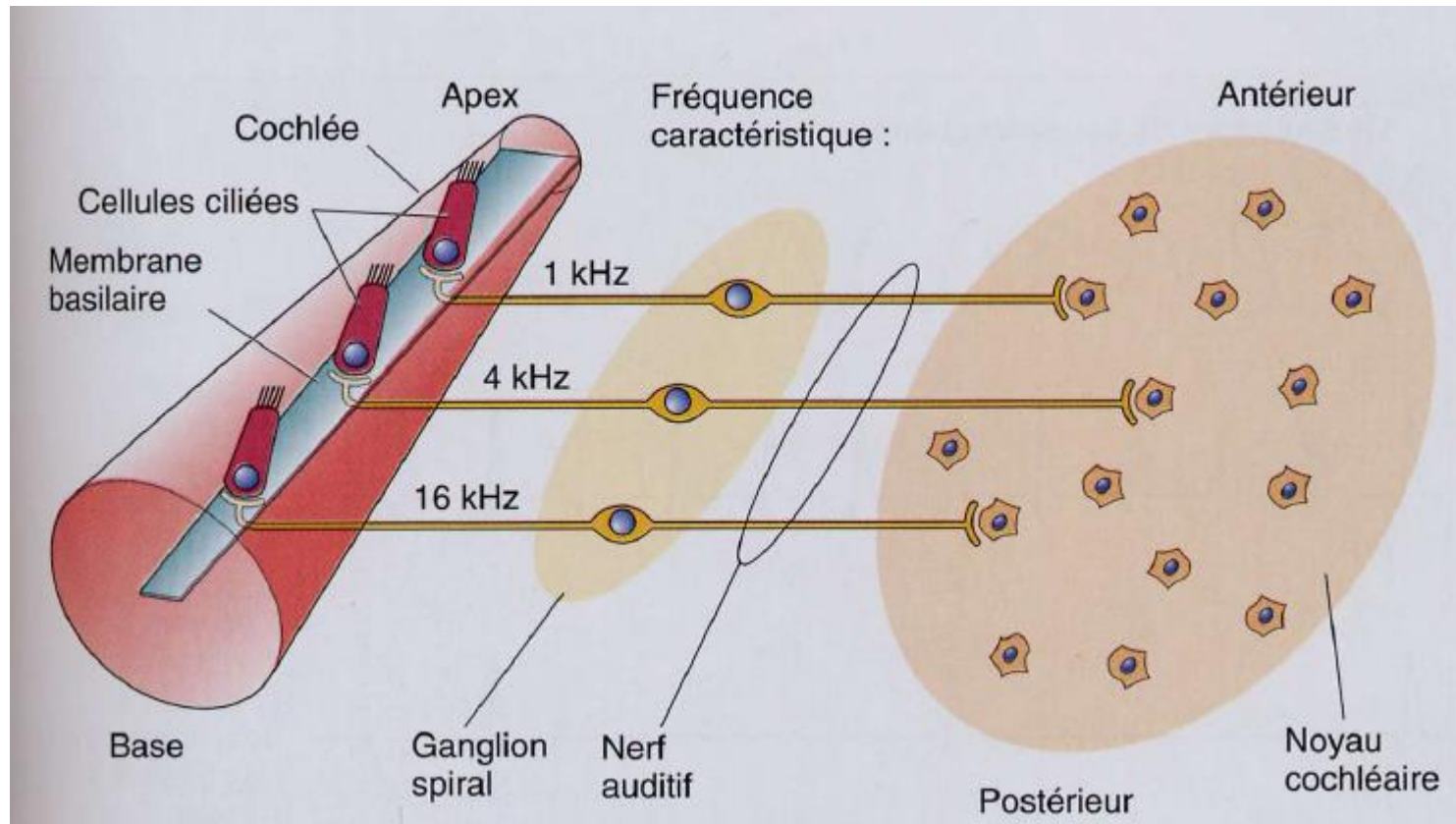
# Voies auditives centrales



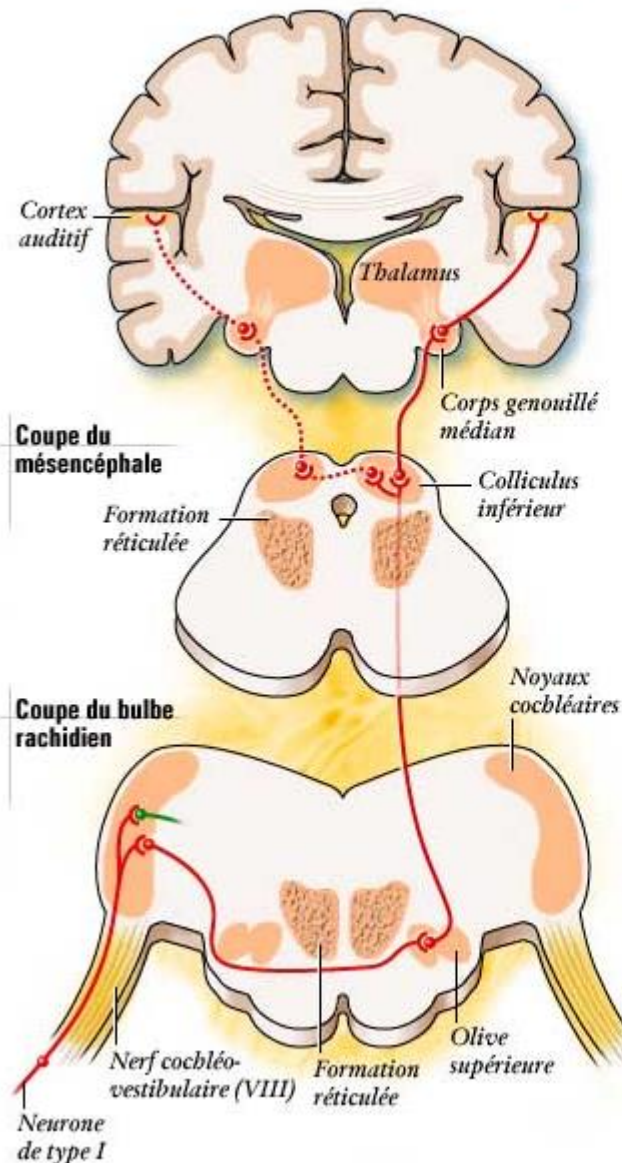
# Voies auditives centrales

- Présence à tous les niveaux d'une tonotopie

Une tonotopie est présente au niveau de la membrane basilaire, du ganglion spiral, du nerf auditif et de tous les centres auditifs



## Voie auditive primaire



**Le dernier neurone** de la voie auditive primaire relie le thalamus au cortex auditif où le message déjà largement décodé par le travail des neurones sous-jacents, est reconnu, mémorisé peut être intégré dans une réponse volontaire.

**Un dernier relais**, avant le cortex, est effectué dans le thalamus (corps genouillé médian) ; c'est là que se fait un important travail d'intégration : préparation d'une réponse motrice (vocale par exemple).

**Au départ de ce relais**, un troisième neurone fait monter le message au niveau du mésencéphale (colliculus inférieur). Ces deux relais jouent un rôle essentiel dans la localisation du son.

**Un deuxième relais** majeur du tronc cérébral est le complexe olivaire supérieur : la plupart des fibres auditives y font synapse après avoir croisé la ligne médiane.

**Le premier relais** de la voie auditive primaire est constitué par les noyaux cochléaires (tronc cérébral) qui reçoivent les axones des neurones de type I du ganglion spiral (nerf auditif) ; à ce niveau s'effectue un travail important dans le décodage de base du message : durée, intensité, fréquence.

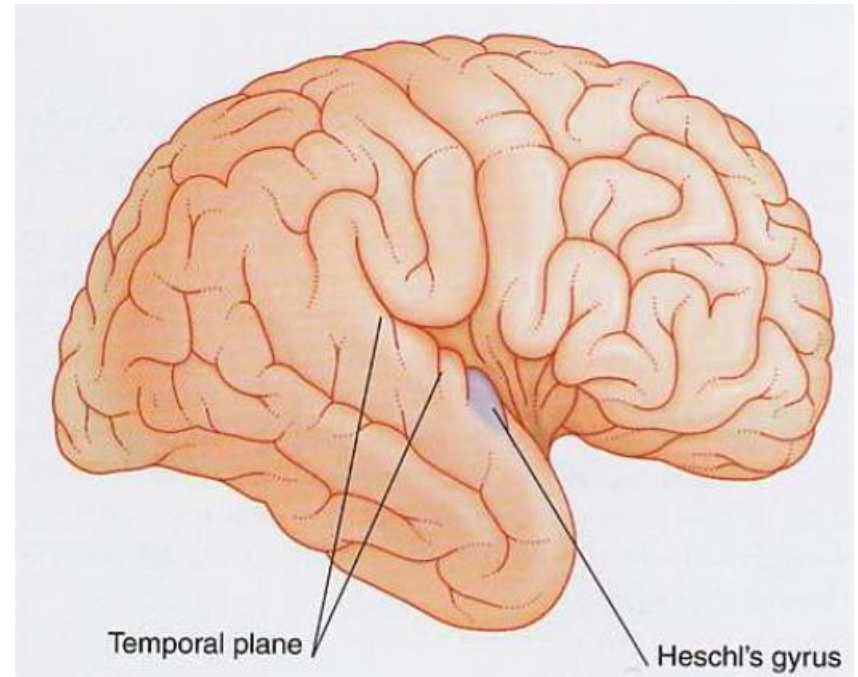
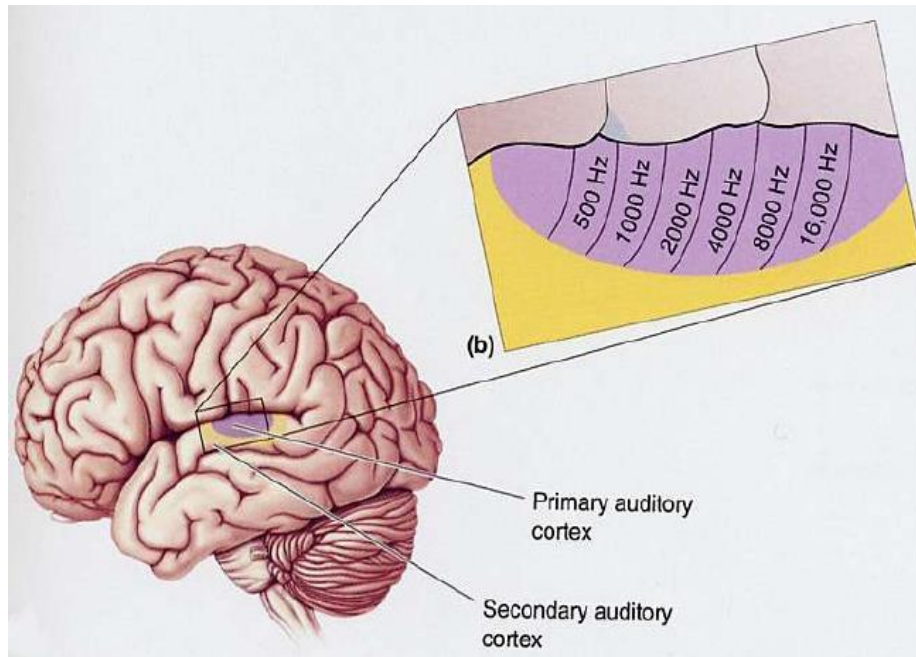


# Cortex auditif

- Cortex auditif primaire : première circonvolution temporale (gyrus de Heschl).
- tonotopie
- Binauralité (certaines cellules sont affectées par des messages provenant des 2 oreilles)
- latéralisation fonctionnelle
  - cortex droit code les sons purs (reconnaissance musicale)
  - cortex gauche discrimination du langage.

# Cortex auditif

- Tonotopie au niveau du cortex auditif primaire :  
représentation des fréquences en des endroits différents



# SURDITÉS

- Exploration grâce à l'audiogramme
- diminution des facultés auditives.
- • La surdité de perception :
- atteinte de l'oreille interne ou du nerf auditif.
- fréquences aiguës
- peut être totale.
- • La surdité de transmission :
- transmission physique du son.
- OE ou OM La perte prédomine sur les
- fréquences graves et n'est jamais totale